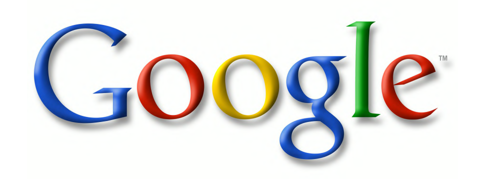
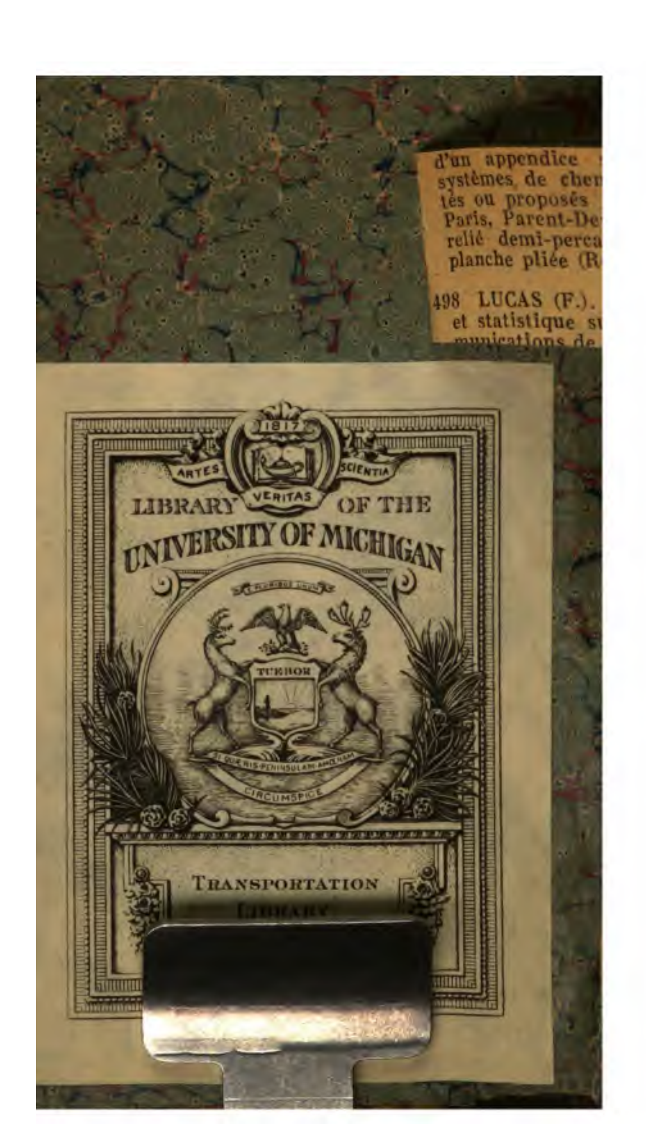


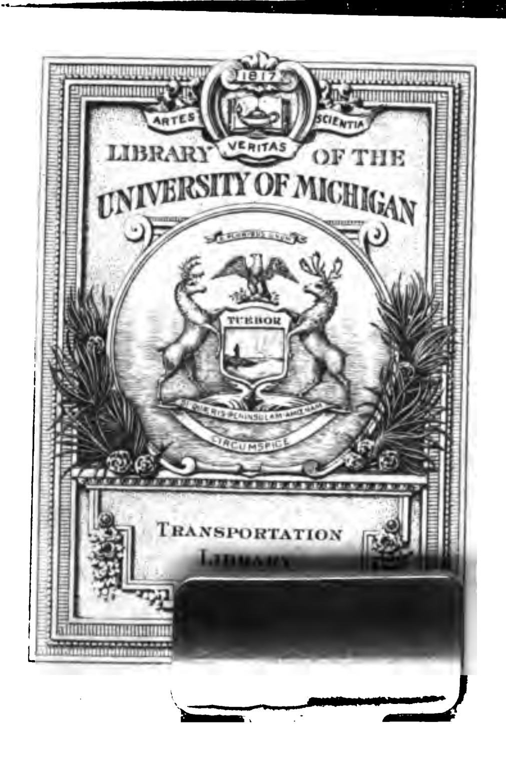



d'un appendice
systèmes de chem
tés ou proposés
Paris, Parent-De
relié demi-perca
planche pliée (R
498 LUCAS (F.).
et statistique su
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
1817
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE
TRANSPORTATION


endice sur les nouveaux
de chemins de fer exécu-
oposés jusqu'à ce jour. —
rent-Desbarres, 1845, in-12
ni-percaline, 708 pp., une
liée (Rousseurs). 25 fr.

S (F.). — Etude historique
ique sur les voies de com-
ons de la France d'après les

89 JULLIEN (C. E.). — Nouveau manuel complet du constructeur de machines locomotives ou essai sur un point de départ à adopter dans les perfectionnements dont ces moteurs sont susceptibles. — Paris, Roret, 1842, 1 vol. in-16 relié demi-chagrin, 422 pp. et 1 atlas in-8 de 18 planches. 50 fr.





1 vol et
1 atlas
50
C 1 25

ENCYCLOPÉDIE-RORET

CONSTRUCTEUR

DE

MACHINES LOCOMOTIVES.

AVIS.

Le mérite des ouvrages de l'*Encyclopédie-Roret* leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la *contrefaçon*. Pour distinguer ce volume il portera, à l'avenir, la *véritable* signature de l'Éditeur.

MANUELS-RORET.

NOUVEAU MANUEL COMPLET

DU

CONSTRUCTEUR

DE

MACHINES LOCOMOTIVES

OU

ESSAI SUR UN POINT DE DÉPART A ADOPTER DANS LES PERFECTIONNEMENTS DONT CES MOTEURS SONT SUSCEPTIBLES.

Par C. E. JULLIEN,

INGÉNIEUR MÉCANICIEN,

Ancien Elève de l'École centrale des Arts et Manufactures; ex-Ingénieur de l'atelier de construction du Creusot; attaché à l'Administration des mines pour la surveillance des machines à vapeur du département de la Seine; Professeur de mécanique industrielle, etc., etc.

OUVRAGE ORNÉ DE 12 PLANCHES GRAVÉES SUR ACIER,

PARIS,

A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,

RUE HAUTEFEUILLE, 10 BIS.

1842.

PRÉFACE.

La construction des locomotives, industrie nouvelle en France, est destinée à y prendre une extension au moins égale à celle des machines fixes, si les grandes lignes de chemins de fer s'exécutent.

Déjà quelques-uns de nos principaux ateliers se sont organisés pour en construire, et les résultats qu'ils ont obtenus, bien que, sous quelques rapports, inférieurs à ceux de certains établissements de l'Angleterre, font présager que l'on sera moins longtemps à rivaliser avec ce pays pour la construction de ce genre de machines, qu'on ne l'a été pour les machines fixes.

Si nous cherchons la cause de cette différence de célérité dans les progrès de notre industrie, nous voyons, non sans plaisir, qu'elle provient en grande partie de ce que l'on a dérogé aux habitudes ordinaires

2° La théorie physique, mathématique et pratique de la locomotive ;

3° La construction.

Puisse la marche que nous avons suivie être approuvée de nos lecteurs, et puisse-t-elle surtout contribuer à faire cesser le tribut que nous payons à l'étranger, dans une spécialité dont plusieurs branches doivent à la France les progrès immenses qu'elles ont faits, et dans lesquelles cette dernière est toujours restée supérieure.

CONSTRUCTEUR
DE MACHINES LOCOMOTIVES.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION HISTORIQUE DES DIFFÉRENTES PARTIES QUI COMPOSENT UNE LOCOMOTIVE.

INTRODUCTION.

L'origine des locomotives a été la solution du problème suivant :

Appliquer la force motrice de la vapeur au transport, soit sur routes ordinaires, soit sur chemins de fer.

Il y avait quatre moyens principaux pour arriver à cette solution : lequel devait avoir la préférence? c'est ce que l'expérience seule était appelée à décider ; aussi furent-ils mis tous quatre en pratique, et, chose remarquable, le meilleur fut le dernier employé. Ces quatre moyens se résument dans l'application des procédés suivants :

1° *Adapter un treuil à une machine à vapeur fixe, et faire enrouler sur ce treuil une corde dont l'extrémité est attachée au convoi que l'on veut remorquer.*

Ce procédé simple, qui est exclusivement employé aujourd'hui pour les fortes pentes, présentait comme inconvénient principal de ne permettre de faire des transports que sur une petite longueur, ou de nécessiter l'emploi d'un grand nombre de machines fixes, si l'on voulait aller plus loin.

2° *Placer le treuil et la machine sur le convoi même, et fixer l'extrémité de la corde à celle du chemin que le convoi doit parcourir.*

Ce procédé, qui est l'inverse du premier, en ce qu'il substitue au renouvellement des machines fixes, pour des grandes distances, un simple renouvellement des cordes, fut mis en pratique pour la première fois par MM. *William* et *Edouard Chapmann*, en 1812. Ces Messieurs remplaçaient le treuil et la corde par une roue dentée engrenant avec une chaîne en fer qui régnait sur toute la longueur du chemin.

3° *Armer la machine, montée sur des roues, d'articulations en fer fonctionnant d'une manière analogue aux jambes et pieds des animaux.*

Ce procédé ingénieux, qui semble indiquer le besoin que l'on ressentait de rendre la machine indépendante de points fixes, fut mis en pratique, pour la première fois, par M. *Brunton*, en 1813.

4° *Imprimer un mouvement de rotation à deux roues égales et fixées sur un même essieu, afin que les vitesses soient égales, au moyen d'une machine à vapeur montée elle-même sur des roues; attacher le convoi aux roues motrices et leur donner une adhérence, avec le sol, suffisante pour qu'elles ne glissent pas.*

Ce procédé, qui est le principe des locomotives actuelles, fut mis en pratique pour la première fois par M. *Blenkensop*, en 1811, c'est-à-dire, un an avant l'invention de MM. William et Edouard Chapmann. Pourquoi ne fut-il pas adopté immédiatement? on le comprendra facilement, si nous disons que, pour produire l'adhérence des roues sur les rails, M. Blenkensop armait ses roues motrices de *dents* engrenant avec une *crémaillère* qui régnait sur toute la longueur du chemin. L'invention de MM. Chapmann était donc un vrai perfectionnement à ce procédé.

On en était à l'invention de M. Brunton, lorsque M. *Blackette*, ingénieur anglais, prouva, par des expériences directes, que l'adhérence des roues ordinaires sur les rails est suffisante pour remorquer pratiquement les mêmes charges que les roues à engrenages.

Cette découverte, si simple, si facile à faire (car les roues ne manquaient pas plus à cette époque qu'aujourd'hui), et qui, néanmoins, était restée ignorée au milieu de tous les

efforts auxquels se livrait l'imagination pour arriver à la solution du problème, opéra une espèce de révolution dans les locomotives, et ce ne fut qu'à partir de cette époque que l'on s'occupa sérieusement d'en construire.

La première locomotive, exécutée d'après le système de M. Blackette, fut essayée sur le chemin de fer de *Wilan*, où elle eut un succès complet, du moins quant à l'adhérence. Depuis lors, on ne songea plus qu'à perfectionner ce système, et c'est lui que l'on considère aujourd'hui comme la solution de la question importante des transports terrestres à la vapeur.

C'est en partant du principe sur lequel il est fondé, que nous allons composer une locomotive moderne, en passant en revue toutes les modifications qu'ont subies chacunes de ses parties depuis cette époque jusqu'à nos jours.

CHAPITRE PREMIER.

TRAVAIL ET TRANSMISSION DU MOUVEMENT.

§ 1er. — *Disposition des roues et essieux moteurs.*

La locomotive peut être destinée à fonctionner sur une route ordinaire ou sur un chemin de fer.

Dans le premier cas, les jantes des roues sont plates; dans le deuxième, elles sont munies de rebords intérieurs pour les empêcher de sortir de la voie, soit par suite de la force centrifuge qui se manifeste dans les courbes, soit par suite du défaut d'égalité mathématique entre leurs diamètres. Dans tous les cas, les roues doivent être, autant que possible, égales entre elles et fixées sur un même essieu, parce que, s'il en était autrement, si, par exemple, elles étaient égales et fixées sur des essieux différents, ou *folles* sur le même essieu, il leur faudrait à chacune un moteur particulier, d'où résulterait impossibilité pratique de leur imprimer des vitesses égales. De même, si, fixées sur le même essieu, le chemin à parcourir étant égal pour toutes deux, l'une des roues était plus grande que l'autre, il y aurait constamment tendance, de la part de la plus grande, à décrire un cercle dont le centre se rapprocherait d'autant plus de la petite que la différence des diamètres serait plus considérable; or, quel que soit le rebord, dans ce cas, les vitesses inégales, entraînant la déviation soit à droite, soit à gauche, mettent à chaque instant le convoi en danger de sortir de la voie.

§ 2. — *Position des cylindres à vapeur.*

Jusqu'ici, la machine à vapeur, la seule exclusivement employée, tant comme machine fixe que comme locomotive, est la machine à cylindre et piston; nous ne croyons donc pas nécessaire d'énumérer ici les divers modes d'application de la vapeur que l'on a tentés sur les locomotives, et nous nous renfermerons complètement dans l'étude de ce dernier système.

D'après le mode d'action de la vapeur sur les pistons, dans les cylindres, son application aux locomotives se résume dans l'énoncé suivant:

Transformer le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu des roues motrices.

Il existe, pour résoudre cette question, trois procédés qui ne diffèrent entre eux que par le nombre des pièces intermédiaires servant à établir la communication entre le cylindre et l'essieu; ces pièces sont :

Le *balancier*, levier à point fixe au milieu de sa longueur, et dont les extrémités sont douées d'un mouvement circulaire alternatif.

La *manivelle*, levier à point fixe à l'une des extrémités, l'autre étant douée d'un mouvement circulaire continu.

La *bielle*, tirant à deux têtes servant à établir la communication entre les pièces douées de mouvements différents.

Le premier procédé consiste dans l'emploi du balancier, de la bielle et de la manivelle réunies. Le mouvement rectiligne alternatif du piston est transformé en mouvement circulaire alternatif du balancier par l'intermédiaire du parallélogramme; la manivelle, fixée sur l'essieu, reçoit son mouvement circulaire continu du balancier, par l'intermédiaire de la bielle.

Le deuxième procédé consiste dans l'emploi de la bielle et de la manivelle seulement. Le mouvement rectiligne alternatif du piston est transformé directement en mouvement circulaire continu de la manivelle par l'intermédiaire de la bielle.

Le troisième procédé consiste dans l'emploi de la manivelle, sans bielle ni balancier. La tige du piston fait fonction de bielle, et le cylindre est doué d'un mouvement circulaire alternatif.

Dans le premier cas, le cylindre à vapeur est vertical et fixe.

Dans le deuxième cas, le cylindre est vertical, incliné, ou horizontal et fixe.

Dans le troisième cas, le cylindre est oscillant, suivant une inclinaison moyenne quelconque dans le plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

Pour déterminer lequel de ces trois procédés est le préférable pour locomotives, il est bon de se rendre compte des conditions principales auxquelles ces moteurs doivent satisfaire. Or, ces conditions sont :

1° Minimum de largeur;

2° Minimum de longueur;

3° Minimum de hauteur;
4° Minimum de poids.

Minimum de largeur, parce que si on les fait plus larges que les voitures qu'elles remorquent, il faut pour elles seules agrandir les tranchées et les souterrains, sans pour cela en retirer plus de profit.

Minimum de longueur, parce qu'il faut pouvoir les manœuvrer sur des plaques tournantes, dans des embranchements et des courbes.

Minimum de hauteur, parce que si leur hauteur est plus grande que celle des voitures remorquées, il faut encore pour elles seules surhausser les souterrains sans profit et risquer de verser dans les courbes par l'effet de la force centrifuge.

Enfin, minimum de poids, parce que des machines trop pesantes détériorent la voie et coûtent beaucoup de traction et aussi parce que si leur poids n'était pas suffisant pour produire l'adhérence nécessaire des roues sur les rails, on ne serait pas embarrassé de l'augmenter, soit avec les approvisionnements, soit avec des poids mêmes.

Or, pour la machine à balancier, soit en dessus comme dans les machines fixes, soit en dessous comme dans les machines de bateaux, nous dirons que toutes deux sont fort lourdes et ont été inventées pour un système autre que celui des locomotives, la *condensation;* en deuxième lieu, nous dirons que la première est trop élevée et nécessite un entablement pour supporter son balancier, et que la deuxième est trop large; aussi doivent-elles être rejetées toutes deux.

Il nous reste à choisir entre les deux autres systèmes qui n'offrent ni les inconvénients de la hauteur, ni ceux de la largeur; mais l'un d'eux, celui à bielle et manivelle, présente les inconvénients de la longueur, dans le cas où les cylindres sont horizontaux. Il suivrait de là, au premier abord, que c'est la *machine oscillante* qui doit l'emporter; nous ne nous prononcerons pas positivement sur ce fait, mais il est probable que, par la suite, quand on aura obtenu des résultats satisfaisants de cette machine, et qu'on aura pu la construire facilement et solide, elle sera employée avec succès dans les locomotives. Pour notre part, nous l'avons vue assez bien fonctionner dans un remorqueur de routes ordinaires. Néanmoins, ce n'est pas elle que l'on préfère, et la machine à bielle et manivelle a été jusquà ce jour exclusivement employée. Il est bon de dire qu'à la vérité on a éludé l'inconvénient

d'une grande longueur, pour le système des cylindres horizontaux, en faisant la course, et, par conséquent, la bielle très-petite.

La première locomotive, qui fut construite en 1802, par MM. *Trewithick* et *Vivian*, avait un seul cylindre vertical, dont le diamètre était de $0^m,203$, et la course de $1^m,37$. Cette longueur de course n'aurait certainement pas été applicable à une machine horizontale; aussi, citons-nous cet exemple pour faire ressortir tous les perfectionnements qui ont été apportés depuis cette époque. La première, exécutée sur le chemin de fer de *Wylan*, d'après le système *Blackette*, avait aussi un seul cylindre vertical, deux bielles et un volant pour le passage de la manivelle au *point mort*. Le volant ne pouvait être employé long-temps, parce qu'il tenait une grande place, quelque petit qu'il fût, qu'il ne régularisait pas assez le mouvement, et ne permettait pas d'arrêter ou de changer la marche à volonté; aussi ne tarda-t-il pas à être remplacé par un second cylindre vertical armé de deux bielles, comme le premier, et dont les manivelles étaient maintenues à angle droit avec celles du premier par le moyen d'engrenages. La transmission du mouvement aux essieux moteurs se faisait encore par des engrenages. Telle fut la première machine à deux cylindres construite par M. *Stephenson*, en 1814.

Les engrenages ne furent pas long-temps employés, parce qu'ils présentaient l'inconvénient de se casser. Pour y remédier, MM. *Dodd* et *Stephenson* placèrent un cylindre vertical sur chaque essieu des roues portant la machine, et adaptèrent les manivelles aux roues mêmes en dehors; puis, pour les conserver à angle droit, ils relièrent les essieux par une chaîne sans fin engrenant avec une roue à dents placée sur chacun d'eux.

Cette disposition des cylindres fut suivie d'une autre non moins ingénieuse, qui fut exécutée dans la *Sans-Pareille* de M. *Hackworth*. Il y avait, à chaque extrémité de l'essieu moteur, un cylindre vertical perché sur la chaudière en dehors des roues. Par ce moyen, on supprimait deux bielles et deux grandes traverses, chaque cylindre transmettant le mouvement en dessous.

Après la Sans-Pareille vint la *Fusée*, par M. *Stephenson*. Cette machine différait de la précédente en ce que les cylindres étaient inclinés à 45° de chaque côté des roues, toujours en dehors. Pendant quelques années, cette disposition n'é-

prouva pas de changements sensibles, si ce n'est dans l'inclinaison des cylindres qui se rapprochait de plus en plus de l'horizontale. Enfin, quand l'expérience eut complètement démontré que l'usure des cylindres n'était pas différente dans quelque position qu'ils fussent, on ne chercha plus que les moyens de les placer d'une manière non embarrassante, c'est-à-dire, sous la chaudière entre les roues. Pour arriver à ce résultat, il fallut construire des essieux coudés, construction bien facile en fonte, mais excessivement difficile en fer forgé, et il nétait pas possible d'en employer d'autres que ces derniers, par la raison qu'ils se cassaient. Les cylindres, alors, furent d'abord placés inclinés, parce que, comme on portait la machine sur quatre roues et que son poids total n'était que suffisant pour produiré l'adhérence nécessaire sur les rails, on accouplait les roues par des bielles, ce qui nécessitait qu'elles fussent égales. Par la suite, et cela ne date que de quelques années, on renonça aux roues accouplées pour remplacer les deux dernières par des petites qui permirent alors de mettre les cylindres horizontaux, point auquel on est arrivé aujourd'hui. Si nous recherchons les motifs qui ont fait renoncer aux roues accouplées, nous les trouvons d'abord dans la nécessité d'employer six roues par suite de l'augmentation de dimensions, et, par conséquent, de poids des machines; ensuite, nous remarquons que des roues accouplées doivent être non-seulement égales deux à deux sur le même essieu, mais encore égales entre elles toutes les quatre. Or, si cette condition n'a pas lieu rigoureusement (et, elle aurait lieu au sortir de l'atelier, que la différence d'usure du fer sur les rails la ferait disparaître), il s'ensuit qu'à chaque tour l'une des deux roues accouplées glisse et produit sur la bielle d'accouplement un tiraillement qui la met bientôt hors de service. Ce n'est pas là le seul inconvénient, et M. Guyonneau de Pambour l'a observé dans ses expériences avec la machine l'*Atlas;* ces glissements des roues et tiraillements des bielles, joints aux glissements qui se manifestent déjà pour deux roues seules, nuisent singulièrement à la marche des machines; aussi ne doit-on employer ce système que pour le transport des marchandises, parce que là on marche avec de petites vitesses. Aujourd'hui les machines portent toutes six roues, deux grandes et quatre petites; cette disposition, qui provient de l'augmentation de dimension du foyer des chaudières, a le grand avantage de rendre moins fréquents les cas de sortie de la voie.

Les cylindres à vapeur sont sans condensation ni détente. Sans condensation, parce que l'appareil du condenseur et l'eau nécessaire à l'injection augmenteraient le poids à transporter d'une manière effrayante; aussi les machines locomotives ne datent-elles véritablement que du jour où on a osé employer la haute pression; car dès 1759 le docteur *Robinson* en eut l'idée, et en 1784 *Watt* indiqua les moyens d'en construire une à condensation.

Sans détente, parce que jusqu'à ces derniers temps on n'avait aucun moyen d'exécuter une détente simple, variable à la main et à chaque instant, condition à peu près indispensable; puis parce qu'on emploie la vapeur, qui a servi, à produire le tirage de la cheminée. Aujourd'hui que le problème de la détente a été résolu, on fait des expériences, et si l'on réussit, on arrivera à une grande économie de combustible, comme nous le verrons tout-à-l'heure.

§ 3. — *Distribution.*

La distribution joue un rôle très-important dans les locomotives, en ce que c'est de la facilité avec laquelle elle se manœuvre que dépend la sûreté des voyageurs, et principalement des conducteurs et chauffeurs. Elle s'effectue de la manière la plus générale, c'est-à-dire au moyen des tiroirs et des excentriques. Ce en quoi elle diffère de la plupart des autres distributions, c'est que les excentriques et leviers sont disposés de telle sorte qu'on peut marcher à volonté en avant ou en arrière, et que le régulateur de la distribution est mû à la main au lieu de l'être par le pendule conique, comme cela se pratique ordinairement.

Quant au système de régulateur employé, il a beaucoup varié, et on est encore fort embarrassé aujourd'hui d'indiquer celui qui est le meilleur. On a fait successivement usage de la *valve de gorge*, du *robinet*, du *papillon*, du *tiroir* et de la *soupape*. Chacun d'eux présente ses avantages et ses inconvénients, comme nous allons le voir.

1° *Valve de gorge.*

Avantages. — Elle règle parfaitement l'introduction de la vapeur, sans exiger la moindre dépense de force pour être mue, la pression de la vapeur étant équilibrée des deux côtés de l'axe; se construit économiquement, et dure fort longtemps.

Inconvénients. — Elle ne ferme jamais bien exactement la

communication entre la chaudière et le cylindre, condition indispensable, pour les locomotives, si l'on veut éviter les accidents.

2° *Robinet.*

Avantages. — Bien rodé, le robinet se manœuvre facilement, le frottement résultant de la pression de la vapeur n'étant que très-faible; de plus il ferme parfaitement la communication entre la chaudière et le cylindre, et règle bien la dépense.

Inconvénients. — Il occupe beaucoup de place si on veut lui donner toute la section convenable, ne se fixe pas facilement, et nécessite un rodage fréquent pour ne pas *gripper.*

3° *Papillon.*

Avantages. — Il ferme et règle très-bien l'introduction de la vapeur, se construit facilement et n'a besoin que rarement d'être rodé; aussi s'use-t-il fort peu; la manœuvre en est assez douce.

Inconvénients. — Il étrangle la vapeur, et c'est un grand vice, aujourd'hui que l'on essaie d'agrandir les sections d'écoulement. Aussi gêne-t-il beaucoup quand on veut le faire un peu grand.

4° *Tiroir.*

Avantages. — Le tiroir ferme et règle parfaitement l'introduction de la vapeur, et peut donner une aussi grande section d'écoulement que l'on veut. Il n'exige pas d'entretien et se construit facilement.

Inconvénients. — Il est dur à manœuvrer, et la boîte dans laquelle on le place est grande.

5° *Soupape.*

Avantages. — La soupape ouvre le tuyau d'écoulement dans toute sa section et ferme parfaitement la communication; de plus elle se construit facilemen[illegible]

Inconvénient[illegible] tient peu de place.

[illegible] — Elle est le plus dur de tous les régulateurs à manœuvrer, en ce qu'elle reçoit toute la pression de la vapeur directement; puis elle ne peut régler aussi exactement que les autres l'introduction.

En résumé :

La valve de gorge doit être exclue toutes les fois qu'elle est destinée à être employée seule.

Le robinet est avantageusement remplacé par le papillon. Le papillon, quoique généralement adopté, finira par céder la place aux tiroirs ou soupapes quand on pourra manœuvrer ces derniers facilement.

Il reste donc à se décider entre le tiroir et la soupape. Le premier devra être préféré pour les machines sans détente, et le deuxième pour les machines à détente; nous allons expliquer pourquoi :

Pour les machines sans détente, il faut pouvoir envoyer de la chaudière au cylindre une quantité de vapeur réglée par la vitesse que l'on veut obtenir. Or, on arrive très-exactement à ce résultat au moyen du tiroir en le fermant plus ou moins, ce qui n'est pas aussi rigoureux avec les soupapes.

D'autre part, si les machines sont à détente variable, c'est la détente elle-même qui règle l'introduction dans le cylindre; le régulateur ne doit donc plus être dans ce cas qu'une porte de communication, et comme la soupape permet d'ouvrir en entier les tuyaux sans aucun coude ni étranglement, nous la préférons pour cet usage seulement.

On peut faire ressortir ici le grand avantage de la détente dans les locomotives, en remarquant que l'effet du régulateur, pour machines sans détente, est de faire travailler la vapeur à une pression moindre que la pression calculée, et par conséquent avec une dépense en combustible plus considérable, tandis que la détente permet non-seulement de tirer parti de l'expansion, mais encore de ne dépenser la vapeur nécessaire pour produire le travail qu'à la pression ordinaire de la machine, ce qui offre deux chances d'économie de combustible sur la méthode actuelle.

§ 4. — *Liaison des différentes parties.*

Nous avons dit que toute la machine actuelle reposait sur six roues, deux grandes motrices et quatre petites servant à supporter tout le poids dont sont déchargées les premières. Ces six roues sont reliées entre elles par un châssis rectangulaire en tôle et bois portant, à l'endroit des coussinets des essieux, des loges pour les recevoir. Ces coussinets ne sont pas directement appliqués sur le châssis; ils en sont séparés par des ressorts, de manière que tout l'appareil de la machine à vapeur étant porté sur le châssis, se trouve à l'abri des chocs auxquels sont exposées fréquemment les roues. L'usage des ressorts ne date pas des premières machines.

Celle de *Wylan* n'en avait pas; la première de M. *Stephenson* non plus; mais celle de MM. *Dodd et Stephenson* commence à indiquer que l'on cherchait le moyen de séparer la machine des roues, probablement parce que cette liaison intime était nuisible. Ces Messieurs employèrent à cet effet des cylindres à vapeur ordinaires faisant corps avec la chaudière et munis intérieurement de pistons mobiles dont les tiges portaient sur les essieux des roues. L'action de la vapeur sur ces pistons maintenait la chaudière à un certain degré de hauteur au-dessus et au-dessous duquel elle oscillait pendant sa marche.

Ce mode ingénieux était loin néanmoins d'être satisfaisant. La pression variable qui se manifestait dans la chaudière y déterminait plusieurs points de position intermédiaire pour les pistons; disons en outre qu'à cette époque le cylindre était vertical, et qu'alors il fallait laisser un jeu considérable au piston pour qu'il ne frappât pas sur les fonds. Les ressorts vinrent bientôt succéder à cette invention, et depuis lors on les a constamment employés.

La machine ainsi établie sur son châssis, il fallait un moyen solide de tenir à une distance constante des cylindres les essieux moteurs; de plus il fallait un appareil pour guider la tige du piston en ligne droite.

On fit à cet effet les *entretoises*, pièces de fer forgé ou tôle de fer, régnant sur toute la longueur de la machine occupée par le mouvement, et attachées de part et d'autre à la chaudière. Ces pièces, généralement au nombre de quatre, portent, à l'endroit du mouvement de la tête de la tige du piston, des glissoirs entre lesquels se meut un guide fixé à cette tête. En outre, elles sont échancrées à l'endroit de l'essieu coudé, de manière qu'un coussinet double placé sur cet essieu a la faculté d'osciller seulement verticalement dans cette échancrure. Par ce moyen, la distance de l'esssieu coudé aux cylindres est sensiblement constante, et ne s'allonge, par moments, que de la différence de longueur qui existe entre une perpendiculaire et une oblique très-rapprochée.

Telle est la disposition actuelle du mouvement dans les locomotives, et telles sont les causes qui l'ont fait adopter: nous allons maintenant passer à l'étude des chaudières à vapeur, qui ne sont pas sans avoir subi aussi de grandes modifications.

CHAPITRE II.

VAPORISATION.

Nous comprendrons dans ce chapitre tout ce qui constitue la fourniture de la vapeur nécessaire à l'alimentation du cylindre ; sous ce point de vue, nous diviserons la vaporisation en trois parties, qui sont :

1° L'appareil générateur de la vapeur;

2° Les appareils de sûreté et d'alimentation ;

3° Les approvisionnements.

L'appareil générateur de la vapeur et les appareils d'alimentation constituent un poids constant.

Les approvisionnements constituent un poids variable qui diminue avec la longueur du chemin parcouru.

Or, nous avons déterminé comme conditions indispensables du remorquage par les roues motrices, que ces dernières devaient être chargées d'un poids proportionné à la charge qu'elles ont à traîner. Nous ne donnerons pas ici ce poids, mais nous dirons que tout naturellement il doit être pris dans la machine à vapeur et ses accessoires.

La question se réduit à déterminer si on chargera les roues :

1° Du poids variable seul ;

2° Du poids variable et du poids constant;

3° Du poids constant seul.

Dans le premier cas, la force de traction des roues pourra être considérable au moment du départ, et arriver à être presque nulle à l'extrémité du trajet. Ce cas serait au plus applicable à un chemin de fer qui, partant d'un centre de communication, déposerait les voyageurs et marchandises sur différents points de station, sans jamais en reprendre d'autres en route.

Dans le deuxième cas, si le poids constant seul suffit pour produire l'adhérence des roues sur les rails, la machine, d'abord trop chargée en partant, augmentera de vitesse au fur et à mesure que l'on avancera, parce que le poids variable diminuera. Cette disposition a été adoptée dans une machine anglaise appelée *la Nouveauté*. Cette machine avait deux cylindres verticaux posés sur une plate-forme au-dessous de laquelle était la chaudière, entre les essieux des

roues. Le foyer était à l'extrémité opposée des cylindres et aussi sur la plate-forme, ce qui produisait une combustion à flamme renversée. Cette disposition a l'avantage d'éviter le fourgon d'approvisionnement, qui est un poids assez lourd à remorquer, et une manœuvre de plus sur les plaques tournantes. Nous ne désespérons pas de voir quelque jour cela adopté; ce qui conviendrait le mieux, à notre avis, ce serait deux cylindres horizontaux et de grandes roues motrices dont l'essieu serait au-dessus de la plate-forme même. Mais, pour cela, il faudrait trouver un bon système de foyer à flamme renversée pour la houille ou le coke.

Le troisième cas est celui que l'on met généralement en pratique aujourd'hui. La chaudière à vapeur et tous ses appareils d'alimentation et de sûreté sont placés sur le châssis, et les approvisionnements sont sur un fourgon placé derrière la machine et communiquant avec la plate-forme du chauffeur.

Les approvisionnements se composent d'eau et de combustible. L'eau sert à l'alimentation de la chaudière pour la production de la vapeur; le combustible sert à élever la température de l'eau au point d'ébullition déterminé par la pression à laquelle on marche.

Le combustible que l'on emploie de préférence dans les locomotives est le coke, ou charbon de houille. On le préfère pour les motifs suivants :

1° Il ne contient pas ou contient fort peu de soufre, ce qui le rend incapable d'attaquer les parois en cuivre de la boîte à feu.

2° Il exige, à poids égal, une surface de grille de beaucoup inférieure à celle nécessaire pour la houille.

3° A poids égal, il produit une quantité de chaleur supérieure à celle donnée par la houille.

4° Il ne donne pas de fumée comme ce dernier combustible, et, partant, n'engorge pas les tubes et cheminées de produits bitumineux.

On a fait beaucoup d'essais pour employer la houille au chauffage des locomotives; mais, sans doute, n'a-t-on pas toujours eu devant les yeux ces quatre conditions auxquelles satisfait le coke : aussi aucun d'eux n'a-t-il réussi. On peut lever la difficulté de production de fumée, par des appareils fumivores convenablement construits, mais on n'empêchera

pas la houille de contenir du soufre, si elle en renferme, et d'exiger une grande surface de grille.

Les seuls essais fructueux qui aient été tentés sont ceux où l'on a fait des mélanges de coke et de houille maigre; ce sont en effet les plus raisonnables.

§ 1er. — *Générateur de la vapeur.*

La première chose à considérer dans un générateur de vapeur, c'est la forme que la pression intérieure permet de lui donner. Or, nous avons dit que les locomotives étaient essentiellement à haute pression; il suit de là que la forme du générateur doit être cylindrique, à base circulaire, ou sphérique.

La première de ces formes est celle qui a été généralement adoptée, comme exigeant peu de largeur, permettant plus facilement le chauffage intérieur que la forme sphérique, et se plaçant aussi mieux sur le châssis, puisque la section d'un cylindre, parallèlement à son axe, est un rectangle, forme du châssis.

Les premières chaudières de locomotives, qui furent construites, consistaient en un cylindre en tôle forte porté sur quatre roues, dont deux motrices, et garni intérieurement d'un foyer en cuivre suivi d'un ou plusieurs carnaux de circulation pour la fumée, en même métal. Ces carnaux, en forme de serpentins, allaient se perdre dans une cheminée placée à l'extrémité opposée à celle du foyer. Le tirage de la cheminée se produisait, comme cela se pratique encore aujourd'hui, au moyen d'un jet intermittent de la vapeur qui avait servi dans les cylindres. Cet emploi ingénieux de la vapeur perdue est plutôt dû au hasard qu'à une invention spéciale; il fallait se débarrasser de la vapeur utilisée, et on ne trouva rien de mieux que de l'injecter dans la cheminée.

Ce système de chaudières à vapeur, avec quelque perfection qu'on l'exécutât, ne donnait jamais plus de 6 à 8 mètres carrés (1 toise 21 pieds à 2 toises 3 pieds carrés) pour la surface de chauffe; il en résultait que quand la machine avait marché pendant un certain temps, elle s'arrêtait faute de vapeur dans les cylindres.

Ce procédé incommode de vaporisation dura jusqu'en 1829, époque à laquelle le concours du chemin de fer de *Liverpool* à *Manchester* voua le nom de *Stephenson* à la pos-

térité. Cet habile ingénieur eut l'idée de remplacer les quelques tubes qui serpentaient dans la chaudière, par une infinité de petits tubes qui, sans diminuer la section d'écoulement de la fumée du foyer à la cheminée, augmentaient sa surface de chauffe dans une proportion très-grande. Pour cela, il mettait le foyer dans une enveloppe spéciale placée devant la chaudière cylindrique, et de ce foyer partaient les tubes qui traversaient la chaudière longitudinalement. A l'extrémité de cette dernière, se trouvait un espace libre dans lequel venait se réunir la fumée sortant des tubes pour se rendre de là à la cheminée.

Cette découverte, dont un pays peut s'énorgueillir, avait été exécutée quelque temps auparavant en France, par M. *Séguin* aîné, dans les chantiers de la compagnie du chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon. Malheureusement elle ne fut connue qu'après celle de M. *Stephenson*, et ce dernier eut tous les honneurs de la priorité, honneurs que ses travaux antérieurs méritaient bien. Depuis lors, on n'a plus employé que ce système, duquel datent tous les perfectionnements, vraiment importants, que l'on a apportés dans la construction de ce moteur.

La première locomotive de M. *Stephenson* avait vingt-cinq tubes seulement de 5 centimètres (1 pouce 10 lignes) de diamètre et présentant avec la boîte à feu une surface de chauffe totale de 12 mètres carrés (2 toises 42 pieds carrés). Aujourd'hui on est arrivé à donner aux chaudières une surface de chauffe totale de 50 mètres carrés (13 toises 6 pieds carrés) en moyenne, et le diamètre des tubes est descendu à 4 centimètres (1 pouce 6 lignes).

Cet excès de surface de chauffe est un peu au détriment de la section d'écoulement de la fumée, et il en résulte qu'il faut donner une plus grande vitesse à cette dernière pour produire une combustion convenable; de là, nécessité de rétrécir le diamètre du tuyau d'injection de vapeur dans la cheminée, et augmentation de pression contre le mouvement du piston, vice auquel on pourrait bien attribuer les avantages de *l'avance* du tiroir, dans certains cas.

L'impossibilité de mettre le foyer dans la chaudière, avec le système des petits tubes, résultait de la nécessité dans laquelle on était d'avoir un espace au-dessous d'eux pour brûler le combustible; car, sans cette précaution, ils auraient bientôt tous été obstrués. Comme il fallait, à chaque extré-

mité de la chaudière, une surface plane pour les fixer tant dans le foyer que dans la boîte à fumée, on a fait le premier rectangulaire en plaçant la prise d'air au-dessous, aussi bas que possible; puis, afin que la pression intérieure ne tende pas à déformer ce foyer ni son enveloppe, on les a reliés ensemble de 10 en 10 centimètres (3 pouces 9 lignes), sur toute leur surface, par des boulons en fer ou en cuivre (ces derniers sont les meilleurs parce qu'ils ne se rouillent pas) taraudés dans les deux faces et rivés en dehors des deux côtés.

Quant à la boîte à fumée, comme elle portait au-dessous d'elle les deux cylindres dont la surface était exposée au refroidissement du courant d'air qui se produit pendant la marche, on n'a rien trouvé de mieux que de les enfermer dans cette boîte prolongée inférieurement, de manière que sa section transversale fût la même que celle de l'enveloppe de la boîte à feu.

§ 2. — *Appareils d'alimentation et de sûreté.*

L'alimentation se produit par une pompe foulante dont le corps est placé sur une des deux entretoises de chaque cylindre, et le piston fixé à la tête de la tige du piston à vapeur. Chacune de ces pompes peut à elle seule suffire à l'alimentation de la chaudière; mais comme l'une d'elles peut venir à manquer, et qu'il est de la plus haute importance que l'alimentation soit constante, la précaution d'en mettre deux n'est pas inutile.

Outre le clapet d'aspiration et le clapet de refoulement, elles possèdent un troisième clapet, de refoulement comme le deuxième, dont le but est de permettre la vérification, à volonté, de leur travail alimentaire. Pour cela, il existe entre les deux clapets de refoulement, une prise d'eau donnant dans un petit tube qui va aboutir à un robinet placé près du chauffeur. Quand on ouvre ce robinet, l'eau de la chaudière ne peut se précipiter dans le tube, puisque le clapet supérieur l'en empêche, et l'eau de la pompe doit y arriver si elle fonctionne bien.

Il est d'habitude de donner aux pistons des pompes des dimensions telles qu'ils fournissent une quantité d'eau double de celle qui est rigoureusement nécessaire à la production de la vapeur motrice. Cela vient de ce que la vapeur, en se rendant de la chaudière aux cylindres, entraîne avec elle une quantité d'eau et de vapeur non utilisées que l'on évalue

égales à leur propre poids. Il existe un moyen de ne lancer que de la vapeur dans le cylindre, et de ne dépenser par conséquent que la quantité d'eau et de combustible nécessaire à sa production. Ce moyen, très-applicable dans les locomotives, consiste à chauffer la vapeur au-dessus de la boîte à feu avant de la faire passer dans le tuyau qui la conduit à la boîte à vapeur. Il présente comme principal inconvénient, de brûler la calotte de la boîte à feu, parce que la température s'y élève beaucoup; mais on y remédierait peut-être en faisant cette calotte en fonte, comme on peut le voir dans la planche 8 de cet ouvrage.

Les soupapes de sûreté sont de deux espèces : l'une, à charge directe et à ressort, se place généralement sur le milieu de la chaudière; l'autre, à levier et à ressort aussi, se place près du chauffeur. Cette dernière fait en même temps fonction de manomètre, en ce que chaque degré de tension du ressort est indiqué en atmosphères et en centimètres de mercure correspondants sur une petite plaque en cuivre, longue et traversée d'une rainure dans laquelle se meut un indicateur.

Le niveau de l'eau se prend au moyen de deux appareils à la fois :

Le premier consiste en un tube de verre, niveau ordinaire, communiquant avec le dessous et le dessus du niveau convenable de l'eau dans la chaudière.

Le deuxième consiste en trois robinets placés l'un au-dessus, l'autre au-dessous et le troisième au niveau exact de l'eau. Quand on ouvre celui de dessus il ne doit s'en échapper que la vapeur; quand on ouvre celui de dessous, il ne doit s'en échapper que de l'eau. Le robinet intermédiaire doit donner l'une et l'autre.

§ 3. — *Fourgon d'approvisionnements.*

Ce fourgon se compose d'une caisse en tôle contenant une quantité d'eau suffisante pour alimenter la chaudière pendant toute la course de la machine jusqu'à la première station d'approvisionnement, plus un espace libre ménagé pour déposer le coke. L'eau forme, en général, l'entourage de cette voiture, et le coke est au milieu séparé des chauffeurs seulement par une porte qui se lève. On a soin d'ajouter à ce fourgon deux caisses fermant à clef et placées sous la responsabilité du conducteur. Ces caisses renferment l'une les

outils nécessaires pour les petites réparations qui se présentent accidentellement pendant la marche, c'est-à-dire des clefs d'écrous, des marteaux, des tenailles, etc.; l'autre, renferme les huiles, les graisses, mastics, enfin toutes les fournitures nécessaires au graissage des pièces et à la fermeture des fuites qui peuvent se manifester.

Ce fourgon est attaché à la machine par des liens en fer faciles à enlever, et est armé de ressorts et tampons comme toutes les autres voitures de chemin de fer pour anéantir autant que possible l'influence des chocs. Les tuyaux de conduite d'eau du fourgon aux pompes alimentaires sont fermés par des soupapes dont la tige est munie d'un filet de vis et d'une petite manivelle à main, afin que l'on puisse fermer exactement la communication. Ces soupapes sont renfermées *dans* la caisse d'eau fraîche; et, afin que les ordures qui peuvent se trouver dans cette caisse n'aillent pas gêner le mouvement des clapets des pompes, on les entoure d'un tamis métallique. L'alimentation se règle au moyen d'un robinet dont la manette est sur la plate-forme du chauffeur.

La jonction entre les deux parties des conduits de l'eau d'alimentation communiquant entre le fourgon et la locomotive, doit satisfaire à deux conditions, qui sont :

1° Pouvoir s'allonger ou se diminuer à volonté;

2° Pouvoir s'élever ou s'abaisser suivant les diverses oscillations auxquelles les voitures sont sujettes par suite de l'emploi des ressorts.

Pour satisfaire à ces conditions, on a employé, et on emploie encore dans beaucoup de machines, des conduits de raccordements en cuir; mais ces conduits ont l'inconvénient de se dégrader facilement et de donner des fuites à l'eau. Pour y remédier, on a employé des raccordements métalliques. Le premier et le plus usité aujourd'hui consiste en deux tubes de diamètres différents, dont le plus petit glisse dans le plus grand par l'intermédiaire d'un stuffing-box. Ces deux tubes possèdent, à leur extrémité de jonction avec le conduit, un genou sphérique qui permet aux machines d'osciller sans les casser.

Le deuxième consiste en deux coudes articulés et un genou au milieu.

Le troisième, qui est fort simple et n'existe que dans les machines de M. Cavé, consiste dans un prolongement de la longueur des conduits sous le tender, de telle sorte que celui

de gauche vienne à droite dans la machine, et celui de droite à gauche. En donnant une forme serpentine à ces conduits, ils possèdent assez d'élasticité pour ne pas se rompre dans les divers mouvements auxquels ils sont exposés. Nous n'osons cependant pas trop les recommander, parce qu'ils sont nouveaux et que l'expérience ne les a pas encore sanctionnés.

Lorsque la machine est en repos et qu'il y a surabondance de vapeur dans la chaudière, afin que cette dernière ne s'échappe pas en pure perte dans l'atmosphère, on fait communiquer l'espace dans lequel elle se tient avec le tuyau qui amène l'eau d'alimentation du tender à la machine, au moyen d'un tube muni d'un robinet : par ce moyen, on arrive à chauffer l'eau d'alimentation, quelquefois jusqu'à 90°, et à économiser ainsi le combustible du foyer ; de plus, l'eau exigeant une moins grande quantité de chaleur pour se vaporiser lorsqu'elle arrive dans la chaudière, permet à une même quantité de surface de chauffe de donner plus de vapeur dans un temps prescrit.

Par suite du renouvellement continuel et de la vaporisation de l'eau dans la chaudière, il se produit à la longue des dépôts dont le séjour dans les chaudières aurait pour grave inconvénient d'empêcher la chaleur de traverser les surfaces de chauffe qui en seraient recouvertes, et, partant, de les exposer à être brûlées.

Pour éviter cela, on laisse un espace de 10 centimètres (3 pouces 9 lignes) entre le dessous des tubes inférieurs et la paroi de la chaudière cylindrique, et on place des robinets de vidange dans le bas de l'enveloppe de la boîte à feu, robinets qui permettent de renouveler l'eau de temps en temps complètement. Outre ces robinets, on perce aux quatre faces de l'enveloppe, dans le bas, au-dessus de la cornière d'assemblage avec la boîte à feu, huit trous que l'on bouche avec des tampons en cuivre taraudés, et permettant de passer un petit râteau que l'on promène sur les quatre côtés intérieurs pour détacher les dépôts qui s'y sont fixés : cette précaution, que les constructeurs négligent quelquefois de prendre, est indispensable.

Quelquefois, par suite d'une station un peu longue, et aussi par suite du refroidissement qui a lieu dans les tuyaux, les cylindres sont chargés d'eau qui refroidit la vapeur et expose à casser les fonds, quand elle est en grande quantité.

Pour se débarrasser de cette dernière, on place à chaque

cylindre, en dessous, et près des brides, deux robinets communiquant avec la main du chauffeur au moyen de petites articulations en fer, très-simples.

La planche 2 représente une locomotive moderne, avec les divers perfectionnements que l'on peut tenter d'y introduire. Ces perfectionnements, au nombre de trois, sont :

1° *La détente variable à la main et à chaque instant ;*

2° *Le chauffage de la vapeur sur la caisse du foyer ;*

3° *Le tirage à volonté par inspiration ou par aspiration.*

Nous verrons dans la deuxième partie, quels avantages positifs ces divers perfectionnements nous ont paru devoir apporter, pour que nous ayons eu l'idée de les proposer.

DEUXIÈME PARTIE.

THÉORIE DES LOCOMOTIVES.

Pour nous, la théorie des locomotives comprend l'exposé des principes de physique et de mécanique auxquels se rattachent les divers phénomènes qui se manifestent dans l'emploi de ces moteurs, ainsi que l'application de ces principes à la détermination des dimensions relatives de leurs différentes parties, en ayant égard aux résultats pratiques obtenus jusqu'à ce jour, soit dans les expériences directes sur machines fonctionnant, soit dans les ateliers, par les divers constructeurs.

Envisagée sous ce point de vue, la théorie des locomotives constitue deux études distinctes, que nous nommerons :

la 1re, Théorie générale,
la 2e, Théorie spéciale,

et que nous allons entreprendre successivement.

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIE GÉNÉRALE DES LOCOMOTIVES.

Notions préliminaires.

La vapeur, employée comme force motrice, donne naissance à 3 phénomènes principaux, dont :

2 physiques, *la combustion et la vaporisation;*
1 mécanique, *le travail de la vapeur.*

C'est l'étude de ces 3 phénomènes qui fera l'objet de ce chapitre.

Avant de commencer, nous croyons utile de rappeler les diverses propriétés des corps dont il sera fait mention.

1° *Inertie.*

C'est la propriété dont jouissent les corps de conserver

indéfiniment l'état de repos ou de mouvement dans lequel ils ont été abandonnés, si aucune force ne tend à les en distraire.

2° *Pesanteur.*

C'est l'attraction normale, à sa surface, qu'exerce la terre sur tous les corps qui l'environnent.

On nomme intensité de la pesanteur la quantité dont croît, à chaque seconde, la vitesse d'un corps tombant d'une certaine hauteur : cette quantité, mesurée par expérience, a été trouvée égale à 9^m,8088 (31 pieds) pour tous les corps tombant dans le vide.

On appelle poids d'un corps, la résultante de toutes les actions parallèles de la pesanteur sur les molécules de ce corps.

Lorsqu'un corps est en repos, ou doué d'un mouvement uniforme en sens contraire de l'action de la pesanteur, c'est qu'alors il est sollicité par une force égale et opposée à cette dernière. Dans le premier cas, le corps a été abandonné à l'état de repos; dans le deuxième il a été abandonné à l'état de mouvement par une force accélératrice autre que celle qui fait équilibre à la pesanteur, et se meut avec la vitesse acquise au moment de la séparation.

Le poids du corps représentant l'attraction de la pesanteur vers la terre, ce même poids représente aussi la valeur de la force qui maintient l'équilibre par son action en sens contraire. Le mouvement d'une force constitue ce qu'on appelle un travail; le travail est le produit de la force par le chemin parcouru dans un espace de temps considéré. Les poids des corps s'exprimant en kilogrammes, les forces s'expriment aussi en kilogrammes, et les chemins parcourus en mètres. Le produit d'une force par le chemin parcouru, ou le travail, s'exprime alors en kilogrammètres dont l'unité est le produit de 1 kilogramme (2 livres) par 1 mètre (3 pieds).

Le travail de 1 cheval-vapeur par $''$ est égal à 75 kilogrammètres, c'est-à-dire à une force de 1 kilog. (2 livres) parcourant 75 mètres (38 toises) par $''$ ou une force de 75 kilog. (150 livres) parcourant 1 mètre (3 pieds) par $''$, etc. Ainsi, pour élever 75 kilog. (150 livres) à 1 mètre (3 pieds) dans une seconde, on appliquera à ce poids un cheval opposant, par une série de poulies de renvois combinés, une force de 75 kilog. (150 livres) égale, et contraire à l'action

de la pesanteur, puis on fera arriver sur le corps une force accélératrice telle que par son choc elle imprime une vitesse uniforme de 1 mètre (3 pieds) par ″, et le corps s'élèvera indéfiniment en conservant cette vitesse tant que l'action du cheval agira dessus. Nous insistons sur ce fait afin que l'on nous comprenne plus loin quand il sera question de la mise en marche des convois. Ce n'est pas le travail de la force qui accompagne le corps, qui imprime le mouvement uniforme, il ne fait qu'équilibrer les forces qui tendent sans cesse à le détruire. Le mouvement a été donné par une force accélératrice initiale, et se continue en vertu de l'inertie de la matière.

3° *Densité.*

C'est le rapport entre le poids d'un volume de ce corps à 0° et celui d'un égal volume d'eau distillée à 4° 1 du thermomètre centigrade, sous la pression $0^m,76$ (28 pouces) de mercure, le poids du volume d'eau étant considéré comme unité.

4° *Chaleur sensible.*

La chaleur sensible d'un corps est celle qu'accuse au thermomètre la température de ce corps.

5° *Chaleur latente.*

La chaleur latente d'un corps est celle, inappréciable au thermomètre, que ce dernier absorbe en passant de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état gazeux.

Dans tous les cas, l'unité de chaleur est la quantité de cette dernière nécessaire pour élever 1 kilog. (2 livres) d'eau de 1°.

6° *Capacité calorifique.*

C'est la quantité de chaleur qu'un poids donné d'un corps absorbe proportionnellement à un même poids d'eau pour que sa température s'élève d'un même nombre de degrés, la capacité calorifique de l'eau étant 1.

7° *Puissance calorifique.*

C'est le nombre d'unités de chaleur que développe 1 kilog. (2 livres) de ce corps pendant sa combustion ou combinaison avec l'oxigène.

8° *Dilatation.*

C'est la propriété dont jouissent tous les corps d'augmenter de volumes par la température, et les fluides élas-

tiques en outre, par la diminution de pression ; les coefficients de dilatation, pris par rapport aux volumes des corps eux-mêmes, à des températures déterminées, sont pour un ou plusieurs degrés définis du thermomètre centigrade.

ARTICLE Ier. — COMBUSTION.

§ 1er. — *De la combustion en général.*

La combustion est une oxidation ou combinaison d'un corps simple avec l'oxigène.

Suivant la nature du corps et sa température, les produits de la combustion sont solides, liquides ou gazeux.

Un des principaux phénomènes de la combustion, c'est l'élévation de température qu'elle occasionne ; cette propriété, qui se manifeste à des degrés variables, suivant la substance employée et la rapidité avec laquelle se fait le renouvellement des surfaces en contact, est, avec la lumière, celle que l'on met le plus à profit dans les arts. Dans ce cas, les corps simples, qui sont les plus propres à être employés, sont ceux que l'oxigène attaque le plus facilement. Parmi ces derniers, il en est qui, pour des quantités égales de chaleur développée, coûtent plus cher les uns que les autres ; les différences mêmes de prix de revient sont tellement sensibles que le nombre de ceux adoptés dans les arts se réduit à 1, le *carbone*, principal composant des matières organiques, dont l'oxidation donne pour résultat de l'acide carbonique, gazeux jusqu'à des températures bien au-dessous de 0°.

100 parties en poids d'acide carbonique contenant :

Carbone	27,36
Oxigène.	72,64

la quantité d'oxigène nécessaire à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de carbone est donnée par la proportion :

$$27.36 : 72.64 :: 1 : x = 2\text{ k. }655$$

L'oxigène s'extrait de l'air dont il occupe les 0,21, en volume, le reste étant occupé par l'azote, corps incapable d'entrer en combinaison, autrement qu'à l'état naissant. Le produit de la combustion, en supposant que tout l'oxigène a été absorbé par le carbone, est un mélange d'acide carbonique et d'azote.

1 mètre cube (29 pieds cubes) d'air à 0°, sous la pression

de $0^m,76$ (28 pouces) de mercure, pèse 1 kilog. 3 (2 livres 10 onces 4 gros).

1 mètre cube (29 pieds cubes) d'oxigène, dans les mêmes circonstances de température et pression, pèse :

$$1.1026 \times 1\text{ k}.3 = 1\text{ k}.4334.$$

Le poids d'oxigène nécessaire à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de carbone étant 2 k. 655 (5 livres 6 onces 6 gros 18 grains), le volume de cet oxigène à 0°, sous la pression $0^m,76$ (28 pouces), est :

$$\frac{2.655}{1.4334} = 1^{m}.\text{ c}.85$$

Le nombre de mètres cubes d'air pesant 1 k. 3 (2 livres 10 onces 4 gros) nécessaire à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de carbone, est donc :

$$\frac{1.85}{0.21} = 8^{m}.\text{ c}.$$

1 mètre cube (29 pieds cubes) d'acide carbonique pèse $1.5245 \times 1\text{ k}.3 = 1\text{ k}.982$ à 0°, sous la pression $0^m,76$ (28 pouces) de mercure. Il contient 72.64 p. 100 oxigène ; donc $1.982 \times 0.7264 = 1\text{ k}.4334$, qui est précisément le poids de 1 mètre cube (29 pieds cubes) de ce dernier. On conclut de là que, chimiquement, il n'y a pas augmentation de volume par la combustion.

Un kilogramme (2 livres 5 gros 35 grains) de carbone pur émet, en brûlant, 7300 unités de chaleur. Suivant la pureté des combustibles dans lesquels s'opère sa combustion, les quantités de chaleur émises par 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de chacun d'eux sont variables. Les principaux combustibles employés dans les arts et classés par ordre de pureté, sont :

	Puissance calorifique de 1 kilogramme.
1° Le charbon de bois.	7300 unités de chaleur.
2° Le coke ou charbon de houille.	7000
3° Le charbon de tourbe	6400
4° La houille.	6000
5° Le bois sec . . . . , .	3500
6° La tourbe.	3000

Parmi ces six substances, trois brûlent complètement, ce

sont : le *charbon de bois*, *le coke* et *le charbon de tourbe*; les trois autres dégagent de la fumée ou mélange de carbone en poussière excessivement fine avec divers hydrogènes carbonés, provenant d'huiles essentielles contenues dans le combustible, susceptibles d'être brûlées, mais à certaines conditions qu'on ne peut toujours remplir.

Les prix de revient, relatifs de l'unité de chaleur produite par ces différents combustibles, sont, à Paris :

charbon de bois. . . .	2.77	houille.	1
coke	1.54	bois	1.33
charbon de tourbe . .	1.30	tourbe	1.10

La quantité d'air lancé dans les foyers par kilogramme de carbone brûlé, n'est jamais la même que celle théoriquement nécessaire pour produire sa combustion; elle est plus considérable, cela parce que l'oxigène, étant très-disséminé dans l'air, ne peut être absorbé complètement dans son passage à travers le combustible. D'après les quelques expériences qui ont été faites à ce sujet, la quantité d'air employée à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de carbone ne dépasserait pas 25 mètres cubes (3 toises $^3/_{10}$ cubes); généralement on admet 18 mètres cubes (2 toises $^4/_{10}$ cubes pesant 29 kilog. (59 liv. 8 onces); mais il n'y a rien de positif dans cette donnée, en ce qu'elle varie suivant les formes et dimensions des foyers. Les appareils où des expériences sur cette matière seraient le plus faciles à faire sont les chaudières de locomotive, parce que les dimensions et formes de ces dernières sont à peu près constantes. Il est probable que pour des vitesses différentes imprimées à l'air, on obtiendrait des résultats différents, non-seulement sur la quantité d'air employé, mais encore sur sa température à la sortie du foyer, deux renseignements indispensables à la détermination du maximun d'effet utile, que l'on peut retirer de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de coke brûlé.

En effet, tout le monde sait que pour activer la combustion, il faut renouveler plus souvent les surfaces en contact, c'est-à-dire accélérer la vitesse de l'air qui traverse le combustible; ce fait découle naturellement du phénomène chimique qui se passe pendant la combustion. Un autre fait non moins important, et que tout le monde connaît aussi, c'est que l'activité de la combustion qui amène nécessairement une augmentation de chaleur produite dans un

temps donné, entraîne avec elle un accroissement de température. Or, cet accroissement de température ne peut être attribué qu'à l'une ou plusieurs des trois causes suivantes :

1° Ou la quantité d'air, nécessaire à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de coke, restant constante, quelle que soit sa vitesse, la quantité de chaleur, emportée par lui hors du foyer, est en raison inverse de cette vitesse.

2° Ou la quantité de chaleur absorbée par l'air restant constante, quelle que soit sa vitesse, la quantité d'air consommé par 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de coke, est en raison inverse de cette vitesse.

3° Ou les quantités d'air nécessaires à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de coke, ainsi que les quantités de chaleur absorbées par cet air étant quelconques, la vitesse de transmission du calorique produit aux surfaces environnantes croît dans une moindre proportion que la production de ce calorique.

Il est probable que les trois effets ont lieu en même temps, c'est-à-dire que la chaleur emportée par l'air est d'autant moindre que sa vitesse est plus considérable, parce qu'il a moins de temps pour s'échauffer; que la quantité d'air em-
vé à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains)
plo, ke est moindre aussi parce que, la température étant
de co... ée, l'attaque est plus facile; qu'enfin, la faculté con-
plus élev... métaux étant proportionnelle à la différence des
ductrice des ... milieux environnants, la quantité de cha-
températures des ... urface de la chaudière dans un temps
leur transmise par la ... and la température du foyer a
donné, n'augmente que qu... là qu'on doit produire la
d'abord augmenté. Il résulte de ... sible, pour avoir le
combustion avec le plus d'activité pos... nement; et on
plus de chaleur possible utilisée par rayon... la chaleur
doit toujours tendre vers le dernier résultat, car ... ite-
emportée par l'air hors du foyer n'est que très-imparfai...
ment communiquée aux surfaces qu'on lui fait lécher dans son passage à travers les canaux de circulation.

Mais, de l'accroissement de vitesse imprimée à l'air, résulte augmentation de travail à dépenser pour produire le tirage. Il y a une limite à déterminer : cette limite est pour le maximum d'effet utile donné par le combustible, quand le travail absorbé par le tirage a été retranché. Nous verrons par la suite quelles sont les différentes circonstances

qui tendent à faire varier les résultats que l'on pourrait obtenir par expérience sur une locomotive donnée.

§ 2. — *Combustion dans les locomotives.*

Le combustible des locomotives est le coke ; les qualités qui le font préférer sont :

1° Celles qu'il possède en commun avec les charbons de bois et de tourbe, et qui se résument ainsi :

Ne pas donner de fumée par sa combustion. A poids égal développer une plus grande quantité de chaleur que les trois autres combustibles. Pouvoir brûler en grande masse et, partant, exiger moins de surface de grille pour une même quantité brûlée dans un temps donné.

Ne pas attaquer, comme le feraient la houille et la tourbe, les parois des foyers par suite de la présence du soufre, et ne pas engorger les canaux de circulation par les dépôts de produits bitumineux.

2° Celle qu'il possède par rapport aux charbons de bois :

Donner à beaucoup meilleur marché, du moins en France, Belgique et Angleterre, des quantités égales de chaleur.

3° Celles qu'il possède par rapport au charbon de tourbe :

Etre plus répandu dans le commerce ; être de qualité moins variable, donner moins de cendres à poids égal ; exiger moins de surface de grille ; surtout, être beaucoup mieux purgé pratiquement du soufre que contenait la substance dont on l'a extrait.

La combustion, dans les locomotives, ayant pour but la vaporisation de l'eau, s'effectue dans un foyer dit *caisse à feu*, entouré de toutes parts de ce liquide, et communiquant à la *cheminée* par une série de petit canaux appelés *tubes*, dans lesquels l'air brûlé se refroidit avant de se dégager dans l'atmosphère ; entre les tubes et la cheminée proprement dite est un espace assez grand par rapport aux sections de ces derniers, et dit *boîte à fumée.*

L'air froid, arrivant sous la grille, rencontre le combustible, qu'il tend à traverser avec une vitesse déterminée par la différence des pressions entre l'extérieur et l'intérieur; mais, bientôt, cette vitesse est ralentie non-seulement par son frottement contre le combustible, mais encore par la dilatation qu'il éprouve en s'échauffant.

Au sortir du combustible, l'air entre dans la caisse à feu dont la section, égale à celle de la grille, dégagée de ses

barreaux et de son combustible, diminue encore la vitesse dont il était doué auparavant. Après la caisse à feu, viennent les tubes dans lesquels la vitesse est déterminée par la différence de pression qui existe entre la caisse à feu et la boîte à fumée; comme là l'air se refroidit à mesure qu'il avance, son volume diminuant, la vitesse tend à s'accélérer de plus en plus; mais il y a les frottements dans les tubes qui s'opposent à ce que cette accélération ait lieu proportionnellement au refroidissement.

Au sortir des tubes, l'air entre dans la boîte à fumée, dont la section, étant très-grande par rapport à celle de ces derniers, ralentit encore la vitesse de l'air jusqu'à son entrée dans la cheminée où elle est *maxima*.

Le tirage est produit physiquement et mécaniquement : physiquement, par la différence de poids de l'air intérieur compris entre le plan horizontal de la grille et le plan parallèle du sommet de la cheminée, par suite de la température; mécaniquement, au moyen des appareils employés à compléter, soit par inspiration, soit par aspiration, la quantité d'air nécessaire à la combustion dans un temps donné.

Les vitesses dans la boîte à feu et la boîte à fumée étant très-faibles par rapport aux autres, on peut, dans la recherche du travail à dépenser pour produire la combustion, les considérer comme nulles; alors tout le travail consiste à faire passer l'air au travers de la grille, des tubes et de la cheminée avec des vitesses que nous déterminerons.

§ 3. — *Travail de la combustion.*

Nous appellerons :

H, la pression, en mercure, de l'air sous la grille, en amont du combustible.

h, la pression de l'air brûlé en aval du combustible, au moment d'entrer dans la boîte à feu.

H', la pression dans la boîte à feu, en amont des tubes.

h', la pression en aval des tubes, au moment d'entrer dans la boîte à fumée.

H'', la pression dans la boîte à fumée, en amont de la cheminée.

h'', la pression en aval de la cheminée, au moment de sortir de cette dernière.

H''', la pression du milieu dans lequel la fumée entre en sortant de la cheminée.

t, la température de l'air entrant sous la grille.
t', la température dans la boîte à feu.
t'', la température dans la boîte à fumée.
v, la vitesse de l'air entrant dans la boîte à feu.
v', la vitesse de l'air entrant dans la boîte à fumée.
v'', la vitesse de l'air sortant de la cheminée.
S, la surface de la grille.
s, la section d'écoulement à travers cette dernière.
S', la section des tubes.
s', la section d'écoulement à travers ces derniers.
S'', la section de la cheminée.
s'', la section d'écoulement à travers cette dernière.
V, le volume introduit par $''$ sous la grille à 10°.
V', le volume d'air entrant par $''$ dans la boîte à feu à la température t' et la pression h.
V'', le volume entrant dans les tubes par $''$.
V''', le volume d'air entrant par $''$ dans la boîte à fumée à la température t'' et la pression h'.
V'''', le volume d'air sortant de la cheminée à la température t'' et la pression h''.
P, le nombre de kilog. de coke brûlés par $''$.
p, le poids d'air employé à la combustion de 1 kilog. de coke.
c, la capacité calorifique de l'air brûlé.

1° *Sections d'écoulement.*

Les sections d'écoulement s, s' s'' ne sont pas les mêmes que celles des orifices à travers lesquels l'écoulement a lieu.

D'après M. d'Aubuisson, les coefficients de section de la veine par rapport à celles des orifices, sont :

En mince paroi.	0.65
Par un ajutage cylindrique. . .	0.93
Par un ajutage conique.	0.94

1° *Grille.* L'orifice d'écoulement est loin d'être égal à la surface de la grille, parce que cette dernière est chargée de combustible. Aucune expérience directe n'a été faite pour déterminer le rapport qui existe entre ces deux sections; aussi pensons-nous ne pas être très éloigné de la vérité, en adoptant, avec MM. *Flachat* et *Petiet*, que la section de la veine à travers la grille est égale au quart de la section de cette dernière.

2° *Tubes*. La section d'écoulement dans l'intérieur des tubes est bien égale à 0,93 de leur section intérieure ; mais, à l'endroit des viroles, la section de l'orifice n'étant que le 0,75 en moyenne de la section intérieure des tubes, il en résulte que la section d'écoulement n'est que les 0,93 $\times$ 0.75 = 0.70 de la section intérieure des tubes.

3° *Cheminée*. Ici on peut admettre en son entier le coefficient 0,93, parce que rien ne s'oppose à ce que l'écoulement ait lieu à pleine section. On a donc :

1° . . . . $s = 0.25\ S$
2° . . . . $s' = 0.70\ S'$
3° . . . . $s'' = 0.93\ S''$

2° *Rapport entre les pressions d'amont et les pressions d'aval des conduites d'écoulement.*

Lorsque l'air circule dans des tuyaux, il se produit, contre les parois, un frottement qui, diminuant à chaque instant sa vitesse en faisant équilibre à une partie de la pression génératrice, finit par rendre très-sensible la différence qui existe entre la vitesse à l'entrée et la vitesse à la sortie du tuyau.

M. d'Aubuisson a fait à ce sujet une série d'expériences qui ont amené les résultats suivants :

D'après ce savant ingénieur, si on appelle :

L la longueur d'une conduite,
S sa section en amont,
s *idem* en aval,
H la pression en amont,
h *idem* en aval,

on a : $$h = H \frac{42\sqrt{S^5}}{L s^2 + 42\sqrt{S^5}}$$

et si, dans cette formule, on pose : $S = s$, il vient, toute réduction faite :

$$h = H \frac{1}{1 + 0.0238 \dfrac{L}{\sqrt{S}}}$$

valeur qui a été trouvée exacte pour tous les cas où la conduite a au moins 10 mètres (30 pieds 6 pouces), mais peut

laisser quelques doutes pour des conduites moins longues. Afin de savoir à quoi nous en tenir sur ce point, nous admettrons pour un moment, d'après ce qui existe généralement, comme dimensions moyennes des sections et longueurs des tuyaux d'écoulement dans les locomotives, les nombres suivants :

Surface de la grille		= 1 m. q.
Section maxima d'un tube.		= 0.0019
Section de la cheminée.		= 0.08

ce qui donne :

Section d'écoulement à travers la grille		= 0 m. q. 25
Idem dans un tube.		= 0.0013
Idem dans la cheminée		= 0.0745
Hauteur du combustible	L	= 0 m. 60
Longueur des tubes	L′	= 2.30
Longueur de la cheminée	L″	= 2

d'où :

$$h = H \frac{1}{1 + 0.0238 \frac{0.6}{\sqrt{0.25}}} = \frac{1}{1.0286} = 0.97\,H$$

$$h' = H' \frac{1}{1 + 0.0238 \frac{2.30}{\sqrt{0.0013}}} = H' \frac{1}{1.53} = 0.65\,H'.$$

$$h'' = H'' \frac{1}{1 + 0.0238 \frac{2}{\sqrt{0\;0745}}} = \frac{1}{1{,}174} = 0{,}85\,H''.$$

En admettant, encore pour un moment, que la pression génératrice d'écoulement soit nulle partout, c'est-à-dire que l'on ait :

$$h = H', \quad h' = H'', \quad h'' = H'''$$

il vient : $H - H''' = H - H' + H' - H'' + H'' - H'''$

$$= H - 0.97\,H + 0.97\,H - 0.65 \times 0{,}97\,H + 0.65 \times 0.97\,H - 0.85 \times 0.65 \times 0.97\,H.$$

$$= H - 0.85 \times 0.65 \times 0.97\,H = 0.465\,H,$$

et pour $H = 0.76$, on a :

Différence des pressions extrêmes pour vaincre les frottements $0,465 \times 0,76 = 0^m,354$.

Ainsi, l'air devrait être, à son entrée, à une pression de $0^m,354$ en sus de la pression génératrice de son écoulement hors de la cheminée, ce qui correspond pour 1 mètre carré écoulé par '' à une force de 64 chevaux, seulement pour vaincre les frottements. Nous ignorons jusqu'à quel point ce résultat est digne de foi, aucune expérience directe n'ayant été faite à ce sujet; néanmoins, nous pensons qu'il est trop fort. Notre intention n'étant pas d'en improviser un autre, nous donnons ces calculs comme indication d'une des lacunes qui manquent dans la détermination exacte du travail des locomotives.

Nous verrons, lorsqu'il sera question de l'évaluation du travail à dépenser, comment on élude la question d'écoulement de l'air pour déterminer le travail nécessaire au tirage par kilogramme (2 livres 5 gros 35 grains) de coke brûlé.

3° *Températures de l'air à son entrée dans les diverses sections d'écoulement.*

La température extérieure s'admet en moyennes de 10°.

Pour avoir les températures intérieures t' et t'', il faut connaître la capacité calorifique de l'air brûlé, capacité que nous avons désignée par c.

A cet effet, nous remarquons que p étant le poids d'air employé à la combustion de 1 kilog. (2 livres 5 gros 35 grains) de coke, et P le poids de coke brûlé par '', la quantité d'air qui passera sous la grille dans ce temps sera représentée par P p. p se décompose en :

$$\left.\begin{array}{ll} 2\text{k}.655 & \text{oxigène} \\ 8\text{k}.845 & \text{azote} \end{array}\right\} = 11.50 \text{ air,}$$

$+ (p - 11,50)$ air qui ne sera pas brûlé. Les 2k.655 oxigène forment $\dfrac{2.655}{0.7264} = 3$k.655 d'acide carbonique;

L'air brûlé se compose donc alors de :

$$\left.\begin{array}{l} 3\text{k}.655 \text{ acide carbonique} \\ + 8\text{k}.845 \text{ azote} \\ + (p - 11,58) \text{ air pur} \end{array}\right\} = (p + 1) \text{ kilog.}$$

La capacité calorifique de l'acide carbonique est 0,221, celle de l'azote 0,2754, et celle de l'air 0,267 ; on a donc :

$$(p+1)\,c = 3.655 \times 0.221 + 8.845 \times 0.2754 + (p - 11.5)\,0.267.$$

d'où nous tirons :

$$c = \frac{0.19 + p \times 0.267}{p+1}$$

et pour p = 11 k.5. . . . . c = 0.26

11 k.5	$c =$	0.26
13		0.2605
15		0.261
17		0.2615
19		0.262
21		0.2625
23		0.263
25		0.2635

c'est-à-dire, si peu variable, que l'on peut admettre pour tous les cas :

$$c = 0.262$$

Maintenant, P kil. de coke donnent P × 7000 unités de chaleur, la caisse à feu en absorbe C, je suppose, il reste donc dans l'air, entrant dans les tubes, P — C unités de chaleur, ce qui donne :

$$P\,(p+1)\,0.262 \times t' = P \times 7000 - C$$

d'où

$$t' = \frac{P \times 7000 - C}{P\,(p+1) \times 0.262}$$

On a de même t'', en remarquant que la quantité de chaleur absorbée par les tubes étant C′, la quantité de cette dernière entraînée par l'air dans la cheminée est P × 7000 — C — C′; d'où :

$$P\,(p+1)\,0.262\,t'' = 7000\,P - C - C'$$

et

$$t'' = \frac{7000 \times P - C - C'}{(p+1)\,P \times 0.262}$$

pour $C + C' = 7000\,P$, $t'' = o$; c'est le cas où on utiliserait toute la chaleur développée par le combustible.

D'après ces équations, on voit que la température est d'autant plus faible que la quantité p est plus grande. Comme, d'après M. *Péclet*, les quantités de chaleur qui

passent à travers une même surface sont proportionnelles à la différence des températures entre les milieux séparés par cette surface, la quantité de chaleur utilisée est d'autant plus grande que les températures sont plus élevées, c'est-à-dire que les quantités d'air employées à la combustion sont plus petites.

4° Vitesse d'écoulement.

Lorsqu'un gaz s'écoule d'un milieu dans un autre, la formule, au moyen de laquelle on obtient sa vitesse, est la suivante :

$$v = \sqrt{2 g x}$$

g étant l'intensité de la pesanteur $= 9^m.81$ x la hauteur d'une colonne de ce gaz dont le poids serait égal à la différence des pressions entre les deux milieux.

Pour déterminer x, H et H′ étant les pressions des deux milieux considérés, exprimées en mercure, soit d la densité du gaz qui s'écoule; la densité du mercure est 13590, on a donc :

$$x \times d \times s = (H - H')\ 13590 \times s$$

s = section d'écoulement.

de là $$x = \left(H - H'\right) \frac{13590}{d}$$

d est inconnue; elle dépend de la nature du gaz et de sa température.

Or, l'air brûlé représente en moyenne 18 mètres cubes à 0° pesant 23 + 1 = 24 kilog., pour chaque kilog. de coke, ce qui donne pour poids du mètre cube $\frac{24}{18} = 1k.315$.

Pour la température, nous avons la formule de dilatation des gaz, qui est:

$$V' = V \frac{H}{H'} \times \frac{1 + 0.00375\, t'}{1 + 0.00375\, t}$$

V, V′ étant deux volumes d'un même poids de gaz à des pressions et températures différentes. Si P représente le poids, on a : $V\, d = P$, $V'\, d' = P$; d'où $V\, d = V'\, d'$

et $$V' = \frac{V\, d}{d}$$

Remplaçant V′ dans la formule ci-dessus, par cette valeur, nous aurons :

$$\frac{V\,d}{d'} = \sqrt{\frac{H\,(1 + 0.00375\,t')}{H'\,(1 + 0.00375\,t)}}$$

et :

$$d = d'\,\frac{H\,(1 + 0.00375\,t')}{H'\,(1 + 0.00375\,t)}$$

faisant :

$$d' = 1\text{ k}.315$$
$$H' = 0.76$$
$$t' = 0^{o}.$$

il vient :

$$d = 1.315\,\frac{H}{0.76\,(1 + 0.00375\,t)}$$

Remplaçant d par cette valeur dans l'expression de x, nous avons :

$$x = (H - H')\,\frac{13590 \times 0.76\,(1 + 0.00375\,t)}{1.315\,H}$$

d'où :

$$v = \sqrt{19.62\,(H - H')\,\frac{13590 \times 0.76\,(1 + 0.00375\,t)}{1.315\,H}}$$

Substituant dans cette formule générale les diverses valeurs de H, H′, t, déterminées plus haut pour les diverses sections d'écoulement dans les locomotives, nous avons :

1° *Vitesse d'entrée de l'air brûlé dans la boîte à feu.*

La pression en aval du combustible est h, celle dans la boîte à feu est H′, la pression génératrice de l'écoulement est h — H′. La température est t', la même que celle d'entrée dans les tubes, car l'air ne rayonne pas dans la boîte à feu et ne se refroidit pas par contact ; on a donc :

$$v = \sqrt{19.62\,(h - H')\,\frac{13590 \times 0.76\,(1 + 0.00375\,t')}{1.315 \times h}}.$$

2° *Vitesse d'entrée de l'air brûlé, au sortir des tubes, dans la boîte à fumée.*

on a : Pression d'aval des tubes. . . . $= h'$
Pression dans la boîte à fumée. $= H''$
Température. . . . . $= t''$

$$\text{et } v' = \sqrt{19.62(h' - H'') \frac{13590 \times 0.76 (1 + 0.00375 t'')}{1.315 \times h'}}$$

3° *Vitesse de sortie de l'air brûlé hors de la cheminée.*

on a : Pression d'aval de la cheminée. $= h''$
Pression après la cheminée. . . $= H'''$
Température. . . . . $= t''$

$$\text{et } v'' = \sqrt{19.62(h'' - H''') \frac{13590 \times 0.76 (1 + 0.00375 t'')}{1.315\ h''}}$$

Nous ne parlons pas de la vitesse de l'air entrant dans les tubes, considérant ces derniers comme des ajutages cylindriques.

Dans le cas où le tirage a lieu par inspiration, H''' est la pression 0m.76, et la longueur d'écoulement dans la cheminée est égale à sa longueur totale.

Si, au contraire, le tirage a lieu par aspiration, $H = 0.76$, et H''' est déterminé par des considérations ultérieures, la longueur d'écoulement n'est réellement que la portion de la cheminée avant l'appareil servant à effectuer le tirage. Si, par exemple, cet appareil est la vapeur sortant des cylindres, la longueur d'écoulement dans la cheminée, en vertu de la pression $h'' - H'''$, est au plus égale au $1/_3$ de sa longueur totale; le travail restant appartient à la vapeur. Afin de tenir compte, autant que possible, de tous les frottements, nous croyons bon, quel que soit le cas, de supposer toujours L'' = longueur totale de la cheminée.

5° *Volumes écoulés.*

Soit V le volume d'air introduit par '' sous la grille à 10°, à 0° sous la pression 0.76, ce volume serait $\dfrac{P\,p}{1k.3}$,

1 k. 3 étant le poids de 1 m. c. d'air à ces température et pression ; à 10° il sera donc :

$$V = \frac{P\,p}{1.3}(1 + 0.0375).$$

Soit V' le volume correspondant entrant dans la boîte à feu ; le poids de ce volume sera $P\,(p + 1)$, donc à t'°, sous la pression h, on aura :

$$V' = \frac{P\,(p+1)}{1.315} \times \frac{0.76}{h}\,(1 + 0.00375\,t'),$$

en observant que le mètre cube pèse alors 1.315.

Soit V'' le volume correspondant entrant dans les tubes, on a :

$$V'' = \frac{P\,(p+1)}{1.315} \times \frac{0.76}{H'}\,(1 + 0.00375\,t').$$

Soit V''' le volume correspondant entrant dans la boîte à fumée, on a :

$$V''' = \frac{P(p+1)}{1.315} \times \frac{0.76}{h'}\,(1 + 0.00375\,t'').$$

Soit V'''' le volume correspondant sortant de la cheminée, on a :

$$V'''' = \frac{P\,(p+1)}{1.3} \times \frac{0.76}{h''}\,(1 + 0.00375\,t'').$$

Mais, les volumes sont égaux aux sections multipliées par les vitesses, on a donc :

$V = 0.93\ S \times$ vitesse non considérée.
$V' = 0.25\ S \times v$
$V'' = 0.70\ S' \times$ vitesse non considérée.
$V''' = 0.70\ S' \times v'$
$V'''' = 0.93\ S'' \times v''$

Si nous remplaçons, dans ces dernières équations, V', V''' et V'''', v, v' et v'', par leurs valeurs trouvées précédemment, nous obtiendrons trois équations nouvelles entre

les quantités d'air consommé, les sections, les pressions et les températures, savoir :

1re Equation de la combustion dans les locomotives.

$$\frac{P(p+1)\,0.76}{1.315 \times h}\left(1+0.00375\,t'\right)=0.25$$

$$S\sqrt{19.62\times(h-H')\,\frac{13590\times 0.76\,(1+0.00375\,t')}{1.315\,h}}$$

2e Equation *idem.*

$$\frac{P(p+1)\times 0.76}{1.315\,h'}\left(1+0.00375\,t''\right)=0.70$$

$$S'\sqrt{19.62\,(h'-H'')\,\frac{13590\times 0.76\,(1+0.00375\,t'')}{1.315\,h'}}.$$

3e Equation *idem.*

$$\frac{P(p+1)\times 0.76}{1.315\,h''}\left(1+0.00375\,t''\right)=0.93$$

$$S''\sqrt{19.62\,(h''-H''')\,\frac{13590\times 0.76\,(1+0.00375\,t'')}{1.315\,h''}}.$$

Equations contenant 11 variables.

P, p, h ou H, h' ou H', h'' ou H'', H''', t', t'', S, S', S''.

Connaissant huit de ces quantités, on aura les trois autres.

D'ordinaire, on connaît exactement :

P, S, S', S'', H ou H'''.

On évalue approximativement p, d'où on déduit t' et t'' ; il reste pour inconnues :

H''' ou H, H', H'' et les pressions h, h', h'' d'aval qui se déterminent par les relations données plus haut.

Quand H est inconnue, le tirage a lieu par inspiration; quand, au contraire c'est H''', le tirage a lieu par aspiration.

Pour chacun de ces deux cas il y a une marche différente à suivre dans la détermination des inconnues :

1° Tirage par inspiration.

H''' connue, H inconnue.

De la 3e équation on tire, tous calculs faits :

$$h'' = \frac{H'''}{2} \pm \sqrt{\frac{H'''^2}{4} + \frac{P^2(p+1)^2 0.76\,(1+0.00375\,t'')}{(0.93S'')^2 19.62 \times 13590 \times 1.315}}$$

Le signe — ne s'emploie pas, comme inutile, donnant h'' négatif, c'est-à-dire changeant de rôle avec H'''.

Connaissant h'', on a H'' par les équations donnant la relation entre les pressions d'aval et celles d'amont.

Connaissant H'', on tire de la 2e équation :

$$h' = \frac{H''}{2} \pm \sqrt{\frac{H''^2}{4} + \frac{P^2(p+1)^2 \times 0.76(1+0.00375\,t'')}{(0.70\,S')^2 19.62 \times 13590 \times 1.315}}$$

Connaissant h', on a H', et alors de la première équation on tire :

$$h = \frac{H'}{2} \pm \sqrt{\frac{H'^2}{4} + \frac{P^2(p+1)^2 \times 0.76\,(1+0.00375\,t')}{(0.25\,S)^2\, 19.62 \times 13590 \times 1.315}}$$

Connaissant h, on H.

2° Tirage par aspiration.

H connue, H''' inconnue.

On déduit h de la formule donnant la pression d'aval en fonction de la pression d'amont.

Connaissant H', on tire de la première équation :

$$H' = h - \frac{P^2(p+1)^2 \times 0.76\,(1+0.00375\,t')}{h.(0.25\,S)^2\, 19.62 \times 13590 \times 1.315}$$

Connaissant H′, on a h', et alors on tire de la deuxième équation :

$$H'' = h' - \frac{P^2 (p + 1)^2 \times 0.76 (1 + 0.00375\, t'')}{h' (0.70\, S')^2\, 19.62 \times 13590 \times 1.315}$$

Connaissant H″, on a h'', et alors on tire de la troisième équation :

$$H''' = h'' - \frac{P^2 (p + 1)^2 \times 0.76 (1 + 0.00375\, t'')}{h'' (0.93\, S'')^2\, 19.62 \times 13590 \times 1.315}$$

6° *Travail de la combustion.*

Lorsqu'un fluide s'écoule par un orifice, si v est sa vitesse, s la section de sa veine, h la pression en mercure du volume qui s'écoule, h' la pression *id.* du milieu dans lequel a lieu l'écoulement, on a pour travail théorique produit par l'écoulement du fluide, dans 1″ :

$$T m = v \times s (h - h')\ 13590 \text{ k.}$$

c'est-à-dire le chemin parcouru v multiplié par la charge transportée $s \times 13590$ k. $(h - h')$; or, $v\, s$ n'est autre que le volume écoulé, si nous appelons ce volume V, nous avons pour travail théorique :

$$T m = V (h - h')\, 13590.$$

Appliquant cette formule à l'écoulement des gaz, nous remarquons que, pour un même poids s'écoulant dans un même temps, si V est le volume à 0° sous la pression 0.76, à $t°$ sous la pression h, le volume s'écoulant sera :

$$\frac{V \times 0.76 (1 + 0.00375\, t)}{h}$$

d'où :

$$T m = V \frac{0.76 (1 + 0.00375\, t)}{h} (h - h')\, 13590$$

Pour les locomotives, nous remplacerons V par $\frac{P (p + 1)}{1.315}$ dans le cas de tirage par aspiration ; et par $\frac{P\, p}{1.3}$ dans le cas de tirage par inspiration; h et h' par H et H‴, ce qui donnera :

1° Tirage par aspiration.

$$Tm = \frac{P(p+1)}{1.315} \frac{0.76}{H'''} (1 + 0.00375\, t'') (0.76 - H''') 13590$$

2° Tirage par inspiration.

$$T'm = \frac{(P\,p)}{1.3\,H}\, 0.76\, (1 + 0.00375\, t)\, (H - 0.76)\, 13590$$

H''' au dénominateur, dans le cas de tirage par aspiration, parce que l'on considère l'aspiration comme se faisant au moyen d'un piston dans l'espace où la pression est H'''.

Afin de déterminer lequel de ces deux genres de tirage est le plus économique, divisons Tm par $T'm$, nous aurons :

$$\frac{Tm}{T'm} = \frac{(p+1)(1+0.00375\, t'')(0.76-H''')\, H \times 1.3}{p\,(1 + 0.00375\, t)\,(H - 0.76)\, H''' \times 1.315}$$

$p + 1$ est plus grand que p;
t'' est plus grand que t :
H est plus grand que H''';
1.3 est à peu près égal à 1.315;

De là, pour que l'on ait : $Tm = T'm$, il faut que $0.76 - H'''$ soit plus petit que $H - 0.76$.

Or, les poids d'air consommé étant égaux, les volumes qui passent dans un même temps à travers une même section, sont d'autant plus considérables que les pressions sont plus faibles ; les vitesses sont dans le même rapport que les volumes, et par suite les pressions génératrices de l'écoulement, les températures étant égales d'ailleurs. Puisque les pressions génératrices de l'écoulement augmentent à mesure que H''' diminue, il en résulte que $0^m.76 - H'''$ est toujours plus grand que $H - 0^m.76$, 0.76 étant la valeur maxima de H'''. Donc, le tirage par inspiration est plus économique que le tirage par aspiration.

Le travail, nécessaire pour produire le tirage, que l'on déduit des formules ci-dessus, n'est pas le travail réel à dépenser. Une partie du tirage est effectuée par la différence de densité qui existe entre l'air intérieur et l'air extérieur.

Nous renvoyons, comme plus haut, à l'article du travail à dépenser, pour la détermination du travail réel enlevé à la machine, afin de produire la combustion de 1 kilog. de coke.

ARTICLE II. — VAPORISATION.

§ 1er. — *Vaporisation en général.*

La vaporisation d'un corps, c'est le passage de ce corps de l'état liquide à l'état gazeux. Ce changement d'état qu'éprouve le corps, provient de deux causes :

La température,
La pression.

Plus la température d'un corps liquide est élevée, plus il est près de son point d'ébullition; plus, au contraire, la pression est élevée, plus il est éloigné de ce point; cela provient de ce que le point d'ébullition d'un liquide n'est autre que le moment où la force répulsive qu'acquièrent les molécules entre elles par suite de l'élévation de température, devient supérieure à la pression à laquelle ce liquide est soumis.

Un des principaux phénomènes de la vaporisation, c'est la conversion d'une quantité plus ou moins notable, suivant la nature du liquide, de chaleur sensible reçue, en chaleur latente.

Passant sous silence les divers autres corps que l'on emploie à produire de la vapeur, dans les arts, nous dirons que l'eau est celui de tous qui jouit de cette propriété au plus haut degré.

L'eau solide au-dessous de 0° du thermomètre centigrade, liquide jusqu'à des températures assez élevées, suivant la pression à laquelle elle est soumise, absorbe par kilog., en passant de l'état solide à l'état liquide, 75 unités de chaleur latente; et, en passant de l'état liquide à l'état gazeux, 650 unités, moins le nombre de ces dernières représentées par la température à laquelle a lieu l'ébullition (1).

On ne connaît pas la loi suivant laquelle croissent les degrés d'ébullition du thermomètre, proportionnellement aux pressions. Faute de cela, on a été obligé de déterminer ces rapports par expérience. Cet important travail, qui a été

(1) Ainsi, 1 kilog. de vapeur produite, absorbe :

à	0.°	650	unités de chaleur latente.
	50.	600	*idem.*
	100.	550	*idem.*
	600.	50	*idem.*
	650.	0	*idem.*

D'où résulte que, à 650°, toute l'eau renfermée dans un vase est à l'état de vapeur, car il n'y a pas de chaleur à dépenser pour la convertir en cette dernière.

confié à l'un de nos plus célèbres physiciens, M. Dulong, a donné pour résultat le tableau suivant.

Tableau des températures, volumes et densités de la vapeur à différentes pressions.

PRESSIONS DE LA VAPEUR A SA NAISSANCE.			Températur. en degrés centigra-des corresp. aux div. pressions.	Volume en litres d'un kil. de va-peur à la pres-sion indiq. et à sa temp. réelle.	Poids du mètre cube de vapeur.
En atmos-phères.	En mètres de mercure.	En kilogr. par mètre quarré.			
10.00	7.60	103360	182.00	207.98	4.808
9.00	6.84	93020	177.40	228.72	4.373
8.00	6.08	82680	172.13	254.27	3.934
7.00	5.32	72350	166.42	286.70	3.488
6.75	5.13	69770	164.84	296.35	3.374
6.50	4.94	67190	163.25	306.62	3.261
6.25	4.75	64610	161.54	317.58	3.149
6.00	4.56	62010	160.00	329.65	3.033
5.75	4.37	59430	158.30	342.76	2.917
5.50	4.18	56850	156.70	356.86	2.802
5.25	3.99	53270	155.00	372.32	2.690
5.00	3.80	51680	153.30	389.38	2.568
4.75	3.61	49100	151.15	406.76	2.457
4.50	3.42	46520	149.15	428.36	2.334
4.25	3.23	43940	146.76	450.96	2.217
4.00	3.04	41340	144.95	477.05	2.096
3.75	2.85	38760	142.70	506.15	1.972
3.50	2.66	36180	140.35	539.10	1.855
3.25	2.47	33600	137.70	576.83	1.734
3.00	2.28	31000	135.00	620.74	1.611
2.75	2.09	28420	132.15	672.36	1.487
2.50	1.90	25840	128.85	733.45	1.363
2.25	1.71	23260	125.50	808.00	1.238
2.00	1.52	20670	121.55	899.91	1.111
1.75	1.33	18090	117.10	1016.66	0.984
1.50	1.14	15510	112.40	1171.59	0.854
1.25	0.95	12930	106.60	1384.36	0.722
1.00	0.76	10340	100.00	1700.00	0.588
0.75	0.57	7760	92.00	2217.20	0.451
0.50	0.38	5180	82.00	3229.36	0.310
0.25	0.19	2600	66.00	6198.38	0.161

Les deux dernières colonnes de ce tableau ont été calculées au moyen des premières, sachant que, à 100° sous la pression $0^m.76$, un kilog. de vapeur donne 1700 litres d'eau. La dilatation des vapeurs étant la même que celle des gaz en général, on obtient le volume à une pression et température quelconques correspondantes, en posant :

$$V' = V \frac{h}{h'} \times \frac{1 + 0.00375\, t'}{1 + 0.00375\, t}$$

et faisant, dans cette dernière :

$$V = 1700$$
$$h = 0^m\,76$$
$$t = 100^0$$

ce qui donne :

$$V = 1700 \frac{0.76}{h} \times \frac{1 + 0.00375\, t}{1.375}$$

Connaissant les volumes de vapeur correspondant à un même poids d'eau, on a les poids de 1 mètre cube (29 pieds cubes) de vapeur, en divisant le poids du mètre cube d'eau par le volume correspondant à ce poids, pour les température et pression considérées.

On convertit l'eau en vapeur, en la renfermant dans une chaudière exposée à la flamme d'un foyer : les parois de cette dernière étant conductrices de la chaleur, laissent passer celle développée par le combustible, soit par rayonnement, soit par contact.

En admettant que toute la chaleur développée par le combustible est absorbée par l'eau de la chaudière, 1 kilog. de coke donnant 7000 unités de chaleur, par sa combustion,

vaporise, au maximum, $\frac{7000}{650} = 10^k.80$ d'eau à 0°.

Or, dans la vaporisation, il peut se présenter trois cas :

Ou la fumée sortant des canaux de circulation pour entrer dans la cheminée, est à une température plus basse que celle d'ébullition ;

Ou elle est à une température égale ;

Ou, enfin, elle est à une température supérieure.

Le premier cas ne peut avoir lieu qu'autant que l'alimen-

tation de la chaudière se fait par l'extrémité de sortie de la fumée.

Le deuxième a lieu toutes les fois que, l'alimentation étant en un point quelconque, la surface de chauffe est assez grande pour qu'il y ait entier refroidissement de la fumée jusqu'à cette température.

Le troisième, qui se présente le plus généralement, provient de ce que la fumée n'a pu se refroidir assez dans sa circulation à travers le liquide.

§ 2. — *Vaporisation dans les locomotives.*

On distingue deux surfaces de chauffe :

La surface de chauffe directe, ou par rayonnement ;

La surface de chauffe par contact.

Les quantités de chaleur passant, dans un même temps, par un mètre quarré de chacune de ces deux surfaces, sont très-différentes, et c'est celle transmise par rayonnement qui est la plus considérable.

M. Stephenson a fait plusieurs expériences tendant à déterminer le rapport qui existait entre ces quantités de chaleur développées, et a trouvé que la faculté conductrice de 1 mètre quarré de surface rayonnante était triple de celle de 1 mètre quarré de surface chauffant par contact.

Ce résultat, bien que très-admissible pour les locomotives actuelles, c'est-à-dire, dépensant en moyenne 480 kilog. de coke par heure, pour 5 mètres quarrés de surface de chauffe directe, et 45 mètr. quarrés de surface de chauffe par contact, ne peut être admis comme rigoureux pour d'autres rapports entre les quantités de coke brûlées et les surfaces de chauffe.

En effet, d'après M. Péclet, les quantités de chaleur qui passent dans un même temps à travers des surfaces égales, sont proportionnelles à la différence des températures des milieux environnants; donc, plus la surface de chauffe par contact sera grande, plus la quantité moyenne de chaleur passant par 1 mètre quarré de cette dernière, dans un temps donné, sera petite, la surface de chauffe rayonnante restant d'ailleurs constante. De même, plus la surface rayonnante sera petite, plus il restera de chaleur dans l'air entrant dans les canaux de circulation ; et, partant, plus la chaleur transmise par eux au liquide sera considérable.

Ici, comme dans la combustion existe une lacune, aucune expérience n'a été faite pour déterminer le rapport entre

les facultés conductrices moyennes relatives, suivant le rapport des surfaces entre elles, et des quantités de coke brûlées dans le même temps. Tout ce qu'on peut dire, quant à présent, c'est que plus la quantité de combustible brûlée dans un temps donné pour une même surface de chauffe sera faible, plus la quantité de chaleur que l'on retirera de ce dernier sera considérable, en admettant toutefois que la quantité d'air employé à la combustion diminue dans la même proportion, c'est-à-dire, reste constante pour une même quantité de coke brûlé.

Pour 480 kilog. coke brûlé par heure avec 5 m. q. de surface de chauffe directe et 45 mèt. quarrés de surface de tubes, plus une vitesse de 40 kilom. correspondant à 9 injections de vapeur dans la cheminée par '' pour produire le tirage, la quantité moyenne de vapeur envoyée aux cylindres est de 2880 kilog. par heure : sur ces 2880 k., 1800 kilog. seulement sont utilisés, 360 kilog. sont perdus dans les conduits des cylindres, le jeu des pistons et les soupapes de sûreté, et 720 sont entraînés à l'état d'eau en suspension, dans la vapeur ; d'où résulte que 1 kilog. vapeur utile coûte :

1°. . . . . 650 unités de chaleur.

2°. . . . $\frac{360}{1800} \times 650 = 130$ *idem*

3°. . . . $\frac{720}{1800}$ . . . . $= 0.4 \times t$

Total : $(780 + 0.4\ t)$ unités de chaleur, t étant la température de vaporisation.

Dans ce cas, d'après les expériences de M. Stephenson, la quantité de vapeur fournie par 1 mètre q. de surface directe est triple de celle fournie par un mètre q. de surface par contact ; 45 mètres q. de cette dernière correspondent alors à 15 mètres q. de la première, ce qui donne 20 mètres q., surface de chauffe directe, pour 1800 kilog. vapeur utile, et 480 kilog. coke brûlé ; ou 1 mètre q. surface directe pour $\frac{1800}{20} = 90$ kilog. vapeur utile et $\frac{480}{20} =$ 24 kilog. coke brûlé par heure. On en déduit que 1 mètre q.

de surface de chauffe par contact donne $\frac{90}{3} = 30$ k. vapeur utile par heure, et consomme $\frac{24}{3} = 8$ kilog. de coke. $\frac{30}{8} = 3.75$ kilog. vapeur utile par kilog. de coke brûlé, c'est-à-dire $^1/_3$ de ce qu'il donne théoriquement.

Le tirage ne se faisant pas uniquement au moyen de la différence de densités entre l'air extérieur et l'air intérieur de la cheminée, mais, en majeure partie, par un procédé mécanique, on pourrait ne lancer l'air brûlé dans la cheminée qu'à la température d'ébullition de l'eau ; il résulterait de là que la chaleur perdue serait aussi petite que possible, ainsi que la consommation en combustible pour un même effet utile produit. Mais pour arriver à ce résultat, il faudrait ou réduire les dimensions des grilles de manière à ne brûler que très-peu de coke dans un temps donné, ou augmenter la surface de chauffe dans une très-grande proportion, en conservant constante celle de la grille. Or, d'une part, la diminution dans la quantité de coke brûlé entraîne la diminution de vapeur produite, et par conséquent de vitesse, ce qui n'est pas admissible; de l'autre, la surface de chauffe des locomotives actuelles étant maxima, on ne peut l'augmenter qu'en augmentant les dimensions mêmes des chaudières qui entraînent avec elles l'élargissement de la voie.

C'est donc une question à résoudre que celle-ci, savoir : l'économie journalière qui résulte d'une combustion de moins de 24 kilog. de coke par mètre q. de surface de chauffe réduite et par heure, est-elle plus grande que l'accroissement de dépense journalière résultant de l'élargissement de la voie?

Cette question, que nous supposons avoir été la cause de la largeur du *Great-Western*, rail-way en Angleterre, (ayant 2 mètres environ au lieu de $1^m.50$ qu'ont les autres chemins de fer, et qui n'a pas encore reçu de solution satisfaisante, puisque l'on continue à construire avec $1^m.50$ pour largeur de voie), pourrait, ce nous semble, se résoudre, sans dépenses aucunes, par le premier moyen que nous avons indiqué, c'est-à-dire en diminuant la surface de la grille.

Comme il est probable que tôt ou tard des essais de ce genre seront faits, et comme les prix de revient des locomotives entrent pour beaucoup dans les devis comparatifs auxquels ces essais donneront lieu, nous ferons, sur ces dernières, diverses hypothèses relativement à la largeur de la voie et la consommation en combustible pour une même surface donnée.

Nous avons dit que, dans les chaudières à vapeur, en général, et dans celles locomotives en particulier, une partie de l'eau renfermée dans la chaudière était entraînée en suspension par la vapeur qui se rend aux cylindres, et faisait perdre ainsi, non-seulement le travail qu'elle a coûté à mettre dans le tender, transporter et injecter dans la chaudière, mais encore la chaleur qui lui a été communiquée par le combustible, et s'élevant à 150 unités de chaleur environ par kilogramme.

Il existe un moyen de rendre cette perte, sinon nulle, du moins à peu près nulle, consistant simplement dans un chauffage spécial de la vapeur avant son passage aux cylindres. En admettant que la quantité d'eau entraînée soit égale aux $^2/_5$ de la quantité de vapeur utilisée, les dépenses relatives seraient pour 1 kilog. de vapeur utile, à quatre atmosphères de pressions :

1° Sans chauffage de la vapeur :

1 kilog. vapeur utile. . . .	650 unités de chaleur.
0.2 *idem* perdue . .	130
0.4 eau entraînée à 150° . .	60
Total :	840 unités de chaleur.

2° Avec chauffage de la vapeur :

1 kilog. vapeur utile . . .	650 unités de chaleur.
0.2 vapeur perdue.	130
Total :	780 unités de chaleur.

d'où, économie minima avec chauffage de la vapeur, sur la méthode actuelle :

$$\frac{840 - 780}{840} = \frac{1}{14}$$

non compris les autres frais ci-dessus énoncés.

Au moyen de la loi des différences de température, on peut arriver à déterminer à peu près les quantités de vapeur données par 1 kilog. de coke pour diverses proportions de surface de chauffe.

En effet, nous avons appelé p la quantité d'air nécessaire à la combustion de 1 kilog. de coke, et nous avons trouvé pour capacité calorifique de l'air brûlé 0.262 ; si nous considérons cet air à son entrée dans la boîte à fumée, la quantité de chaleur emportée par lui est égale à :

$$(p + 1)\,t \times 0.262.$$

t étant la température dans la boîte à fumée. p peut être égal à 12, 13, etc., 20, 23, 25 kilog.; soit comme on le suppose généralement $p = 23$ kilog.

La quantité de chaleur produite par le coke brûlé est 7000 unités.

La quantité de chaleur absorbée par la chaudière dans les locomotives ordinaires est égale seulement aux 0.45 de celle produite, c'est-à-dire 3150 unités par kilog. de coke brûlé; d'où suit que la quantité entraînée dans la cheminée est égale à 7000 — 3150 = 3850 unités de chaleur.

Posant l'équation :

$$24 \times t \times 0.262 = 3850$$

on a :

$$t = \frac{3850}{6.3} = 612^{\circ}$$

La température de l'eau dans la chaudière est 145°, la différence entre les températures de la fumée sortant des tubes et de l'eau, est 612 — 145 = 467° ; de là la proportion :

Si, pour une différence de température égale à 467°, la quantité de chaleur qui passe par heure et par mètre q. de surface de chauffe réduite, est 90 k. × 840 = 75600 unités de chaleur, pour une différence t — 145°, combien sera-t-elle?

$$467^{\circ} : 75600 :: t - 145 : x.$$

d'où le tableau suivant.

(*Voir ce Tableau, page* 52.)

***Tableau des quantités de chaleur passant par heure et par mètre q. de surface de chauffe réduite, pour différentes températures de l'air entrant dans la cheminée* (1).**

Températures de la fumée sortant des tubes.	Différence des températures entre l'eau et la fumée.	Quantité de chaleur passant par heure et par mèt. quarré de surface de chauffe réduite.	Quantité de coke brûlé par heure et par mètre quarré de surface de chauffe réduite.	Quantité de vapeur utile donnée par 1 k. de coke,	
				sans chauffage de la vapeur.	avec chauffage de la vapeur.
o	o	unités de chaleur.	k.	.	k.
150	5	810	0.134	7.20	7.80
175	30	4850	0.820	7.00	7.55
200	55	8900	1.545	6.88	7.40
225	80	12900	2.300	6.60	7.15
250	105	17000	3.120	6.45	6.95
275	130	21000	4.000	6.28	6.75
300	155	25000	4.850	6.12	6.60
325	180	29000	5.825	5.95	6.40
350	205	33000	6.825	5.72	6.20
375	230	37000	7.950	5.52	5.95
400	255	41200	9.150	5.36	5.72
425	280	45200	10.450	5.15	5.55
450	305	49200	11.700	5.00	5.40
475	330	53200	13.200	4.85	5.20
500	355	57200	14.800	4.62	4.96
525	380	61500	16.500	4.42	4.75
550	405	65500	18.400	4.23	4.56
575	430	69500	20.400	4.02	4.34
600	455	73500	22.600	3.86	4.16
625	480	77500	25.000	3.70	4.00
650	505	82000	26.700	3.65	3.94

(1) Dans les locomotives actuelles on adopte, d'après M. *Stephenson*, pour surface de chauffe réduite, la surface de la boîte à feu plus 1/3 de celle des tubes.

La 4e colonne s'obtient en posant :

$$24 \text{ kilog. d'air} \times x \text{ k. de coke} \times t \times \underset{\text{cap. calorif.}}{0.262} = x \times \underset{\text{unités de chaleur totale produite.}}{7000} - u \text{ unités de chaleur utilisée.}$$

d'où :

$$x = \frac{u}{7000 - t \times 6.25}$$

A une valeur de t dans la première colonne correspond une valeur de u dans la troisième, d'où on tire x.

Les 5e et 6e colonnes s'obtiennent simplement en divisant la quantité de chaleur passant par 1 mètre q. de surface de chauffe de la 3e colonne, par le produit de 840 et 780 unités de chaleur nécessaire à la production de 1 kilog. de vapeur utile, par les chiffres correspondant de la 4e, ainsi :

Si 810 unités de chaleur passent par heure à travers 1 mètre q. de surface de chauffe réduite, elles vaporiseront $\frac{810}{840 \text{ ou } 780}$ kilog. d'eau utile.

d'où :

$$0 \text{ k. } 134 \text{ coke} : \frac{810}{840 \text{ ou } 780} :: 1 : x$$

$$x = \frac{810}{0.134 \times 840 \text{ ou } 780}$$

de même pour les autres.

En supposant ce tableau exact pour tous les cas où la surface de chauffe par contact est égale à 9 fois la surface de chauffe directe, il cesse de l'être, lorsque le rapport des deux surfaces change, parce qu'alors le rapport entre les quantités moyennes de chaleur transmise par ces dernières change aussi.

En appelant n le rapport variable entre la surface de chauffe par contact et la surface de chauffe directe, et x la faculté conductrice relative pour la surface de chauffe par

contact, on aurait peut-être approximativement les valeurs diverses de x, en posant :

$$9 \times \frac{1}{3} = n \times x$$

		Rapport entre les facultés conductrices, celle directe étant 1.
d'où pour $n =$	9 fois la surface de chauffe directe.	$x = 0.333$
$n =$	12.	$x = 0.25$
$n =$	15.	$x = 0.20$
$n =$	18.	$x = 0.166$
$n =$	21.	$x = 0.142$
$n =$	24.	$x = 0.125$
$n =$	27.	$x = 0.111$

Mais alors il faudrait pour chaque rapport des surfaces un tableau particulier. Au lieu de cela, il nous semble plus simple de prendre la surface totale du 1er cas, c'est-à-dire 50 mètres q., et dire : les 50 mètres q. de surface de chauffe donnent par heure 1800 k. de vapeur utile, 1 mètre q. moyen donnera $\frac{1800}{50} = 36$ k. et laissera, par conséquent, passer $36 \times 840 = 30240$ unités de chaleur dans le même temps.

Alors la proportion :

$$467^0 : 30300 \text{ unit. de ch.} :: t - 145 : x$$

et le tableau suivant, pouvant servir pour tous les cas, mais seulement d'une manière approximative.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

Tableau des quantités de chaleur passant par heure et par mètre quarré de surface totale de chauffe pour différentes températures de l'air entrant dans la cheminée.

Températures de la fumée sortant des tubes.	Différence des températures.	Quantité de chaleur passant, en moyenne, par heure et par mètre quarré de surface de chauffe.	Quantité de coke brûlé par heure et par mètre quarré de surface de chauffe moyenne.
o	o	unit. de chaleur.	k.
150	5	325	0.0536
175	30	1950	0.3300
200	55	3570	0.6250
225	80	5200	0.9300
250	105	6800	1.2500
275	130	8450	1.6000
300	155	10100	1.9700
325	180	11700	2.3600
350	205	13300	2.7700
375	230	15000	3.2200
400	255	16600	3.7000
425	280	18200	4.2000
450	305	19800	4.7400
475	330	21500	5.3200
500	355	23000	6.0000
525	380	24700	6.6500
550	405	26300	7.4000
575	430	28000	8.3000
600	455	29500	9.1000
625	480	31200	10.2000
650	505	32800	11.3000

Il est inutile d'indiquer ici la quantité de vapeur utile donnée par kilog. de coke, cette quantité étant la même que celle indiquée dans le précédent tableau.

ARTICLE III. — TRAVAIL.

§ 1er. — *Du travail en général.*

Le travail, c'est l'application d'une force à l'équilibre d'une résistance en mouvement uniforme.

Lorsqu'il y a travail, de deux effets l'un : ou la force accompagne la résistance, ou elle est renouvelée à chaque instant, sans quoi l'équilibre n'ayant plus lieu, la résistance agit comme force retardatrice constante, et anéantit le mouvement dont elle est douée.

Les différents éléments de force employés dans les arts, sont :

1° La puissance musculaire des animaux ;

2° L'attraction de certains corps entre eux ;

3° L'attraction de la terre sur les corps qui l'environnent, ou la pesanteur ;

4° La force élastique des gaz, comprimés à des degrés différents, de chaque côté d'une même surface.

1° *Puissance musculaire.* — Les animaux sont constitués de telle sorte, que non-seulement ils font équilibre à la résistance, mais encore peuvent l'accompagner. De là résulte en apparence, au premier abord, que le travail peut s'effectuer sans dépense aucune au moyen des animaux, puisque la force n'est pas renouvelée. Il n'en est cependant pas ainsi, parce que, au bout d'un certain temps de travail, un repos joint à une alimentation convenable deviennent nécessaires. Si donc le renouvellement de la force ne se fait pas à chaque instant, il a néanmoins lieu, seulement à des époques plus ou moins éloignées.

2° *Attraction de corps entre eux.* — Deux fluides, l'électricité et l'aimant, qui, bien que paraissant différer de nature dans certains cas, ont la même origine, communiquent aux corps sur lesquels ils exercent leur influence, la propriété de s'attirer et de se repousser, après s'être touchés, par suite du mouvement qui les a rapprochés l'un de l'autre. Ici, la force est l'attraction des deux corps l'un pour l'autre quand ils sont éloignés, ou leur répulsion quand ils se touchent. L'attraction et la répulsion ne se manifestant que dans une limite assez restreinte de chaque côté de celui des deux corps qui est fixe, il en résulte que, dans l'équilibre de mouvement uniforme d'une résistance par celui des deux corps

qui est mobile, il faut, pour que cet équilibre dure indéfiniment, que l'un des deux corps électrisés ou magnétisés, soit renouvelé au moment où la distance entre eux devient supérieure à la limite d'attraction ou de répulsion. Il y a donc aussi là renouvellement de la force; mais ce renouvellement diffère du précédent en ce que la force attractive est restée la même pour chacun des deux corps; d'où suit que, si on dispose l'appareil de manière que le corps mobile décrive une circonférence, il suffira d'un certain nombre de corps fixes, ou, réciproquement, répartir sur cette circonférence, pour que la force accompagne indéfiniment la résistance, sans consommation aucune, jusqu'à l'entière usure des matériaux constituant l'appareil.

3° *Pesanteur*. — La pesanteur se manifeste sur les corps répartis autour du globe, jusqu'à temps que ces corps aient atteint la surface de ce dernier. La force de la pesanteur ne peut donc suivre la résistance que pendant un temps au bout duquel elle doit être renouvelée, ce qui ne peut avoir lieu que par le renouvellement du corps pesant.

4° *Force élastique des gaz*. — La différence de pression de deux gaz sur une même surface, de chaque côté, constitue une force; si la surface est en repos, la pression ou force reste constante; mais, dès qu'elle prend un mouvement, le volume du gaz, dont l'excès de pression produit la force, augmente, et alors la pression diminue si la quantité dont augmente le volume n'est pas renouvelée. Dans ce dernier cas seulement, comme on le voit, le renouvellement de la force a lieu à chaque instant pour que l'équilibre existe.

En pratique, on modifie les deux derniers cas ci-dessus : ainsi, pour le troisième, au lieu de renouveler le corps pesant à des époques fixes et éloignées, on le renouvelle par portions successives à chaque instant, d'où résulte un mouvement plus régulier. Pour le quatrième, on arrête quelquefois le renouvellement du gaz comprimé, pour utiliser la pression qu'il conserve encore avant d'avoir été ramené par son augmentation de volume à celle du gaz dilaté; dans ce cas, pour conserver constante la force qui équilibre la résistance, on adapte à l'appareil un régulateur ou corps inerte, c'est-à-dire, exempt des effets de la pesanteur, quant à son mode d'action, et absorbant, pour augmenter de vitesse d'une très-petite quantité, toute la force qui a été donnée en excès au commencement de l'action du gaz com-

Observant que l'adhérence est proportionnelle au poids des pièces frottantes, si nous appelons :

Tm, le travail dépensé par la machine par $''$;

V_1, la vitesse du convoi sur la voie;

Q, le poids du convoi remorqué;

P, le poids de la machine;

K, le coefficient de l'adhérence de différentes parties frottantes de Q;

K' le coefficient de l'adhérence additionnelle des parties frottantes de la machine par suite du remorquage de Q;

K'', le coefficient de l'adhérence des parties frottantes de la machine marchant seule;

h', la pression contre les pistons produisant le tirage, en mètres d'eau;

v, la vitesse des pistons,

S, la surface des deux pistons;

nous avons :

$$Tm = V_1\Big(Q(K+K') + PK''\Big) + h' \times v \times S \times 1000k.$$

et si, laissant de côté pour un instant le travail nécessaire pour produire la combustion, nous appelons $T'm$ le travail restant, il vient :

$$T'm = V_1\Big(Q(K+K') + PK''\Big);$$

d'où : $$V_1 Q(K+K') = T'm - V_1 PK''$$

$V_1 Q(K+K')$ est le travail nécessaire pour le transport; c'est donc l'effet utile. $V_1 PK''$ est le travail absorbé par le frottement de la machine, c'est-à-dire le travail perdu.

Tm étant constant, les seules variables de cette équation sont V_1 et Q.

Or, pour des valeurs croissantes de V_1, le produit $V_1 P K''$ croissant, il faut, pour que l'égalité existe, que le produit $V_1 Q(K+K')$ diminue. Il résulte de là que l'effet utile est d'autant plus petit que la vitesse est plus grande. Donc, de deux machines dépensant la même quantité de travail dans le même temps, celle-là a le plus de puissance effective, qui fonctionne à la moindre vitesse.

Les quantités K, K' et K'' peuvent se déterminer ainsi :

1° K. On laisse descendre un convoi, dont le poids total est Q, sur un plan incliné. Si l est la longueur parcourue,

la différence de niveau entre le point de départ et l'extrémité de la course étant h, la force qui tend à faire descendre le convoi est la composante de la pesanteur $Q\dfrac{h}{l}$. Le convoi éprouvant un frottement K Q, la force en vertu de laquelle il parcourt l'espace l dans le temps t, n'est plus que $Q\left(\dfrac{h}{l} - K\right)$. L'intensité de la pesanteur étant g, si g' représente l'intensité de la force $Q\left(\dfrac{h}{l} - K,\right)$ on a, d'après un principe de mécanique, pour expression de l'espace parcouru dans le temps t :

$$l = \frac{g' t^2}{2}; \text{ d'où } g' = \frac{2\,l}{t^2}$$

Les forces sont entre elles comme leurs intensités, donc :

$$Q\left(\frac{h}{l} - K\right) : Q :: \frac{2\,l}{t^2} : g;$$

d'où :

$$Q\frac{h}{l}\,g - Q\,K\,g = \frac{2\,Q\,l}{t^2};$$

et :

$$K = \frac{h}{l} - \frac{2\,l}{t^2\,g}$$

équation dans laquelle $g = 9^{m}.84$, ce qui donne, toute réduction faite :

$$K = \frac{h}{l} - 0.204\,\frac{l}{t^2}$$

t est déterminé par expérience et est exprimé en secondes.

2° K''. Si dans l'équation :

$$V_1\,Q\,(K \quad K') = T'm - V_1\,P\,K'',$$

on pose : $Q = o$, il vient :

$$T'm = V_1 P K'';$$

d'où :

$$K'' = \frac{T'm}{V_1 P}$$

Connaissant $T'm$ et la vitesse V_1 de la machine par $''$, quand elle marche seule, on aura K''.

3° K'. Connaissant K et K'', on déterminera K' en se donnant Q et en résolvant l'équation générale par rapport à cette inconnue, en substituant pour V_1 la valeur qu'on lui aura trouvée dans l'expérience ; d'où :

$$K' = \frac{T'm - V_1 (Q K \quad P K'')}{V_1 Q}$$

On se sert aussi, pour déterminer K, du dynamomètre qui a l'avantage de donner la résistance à vaincre en ligne droite, en courbes, en montées, descentes, et enfin, suivant toutes les circonstances extérieures qui peuvent se présenter.

Pour K'' on a recherché quelquefois la pression minima nécessaire pour imprimer le mouvement à la machine marchant seule ; on a aussi employé le plan incliné.

Les coefficients K, K', K'' déterminés successivement par MM. *Nick-Wood et Guyonneau de Pambour*, ont été trouvés :

$$K = \frac{1}{200} = 0.005$$

$$K' = \frac{1}{2000} = 0.0005$$

$$K'' = \frac{1}{150} = 0.0066$$

Les deux premiers peuvent être admis comme moyens pour les transports sur terrein horizontal, en ligne droite ; quant au troisième, il est excessivement variable dans les mêmes circonstances, en ce qu'il dépend tout-à-fait de la qualité de la machine.

h' se détermine par le calcul, de la manière suivante :

Soit L une valeur moyenne arbitraire de h', la pression contre le piston est 10 mètres 32 + L, c'est-à-dire la pression atmosphérique plus la pression produisant le tirage. Si L est la vraie valeur de h', il faut que la vitesse résultant de cet excès de pression sur 10 mètres 32 soit telle, que toute la vapeur s'écoule pendant que le piston avance. A 10 mètres 32 + L de pression, la densité de la vapeur est d avec la température t'; si donc V représente le volume de vapeur qui se dépense par '' dans le cylindre à la pression de marche h et la température t, on aura le volume V' correspondant à la pression 10 mètres 32 + L et la température t', en posant :

$$V' = V \frac{10.32 + L}{h} \times \frac{1 + 0.00375\, t'}{1 + 0.00375\, t}$$

et si 0,9 S représente la section d'écoulement par l'orifice supérieur du tuyau d'injection, on a :

$$\text{vitesse d'écoulement} = \frac{V'}{S}$$

Mais, d'autre part, on a :

$$\text{vitesse d'écoulement} = \sqrt{19.62 \times L \frac{13590}{d}}$$

Si les deux valeurs que l'on trouve pour la vitesse d'écoulement sont égales, on en conclut que L est la valeur moyenne réelle de h'.

En procédant ainsi sur plusieurs locomotives, sauf la température dont ils ne nous semblent pas avoir tenu compte, peut-être parce qu'elle est négligeable, MM. *Flachat* et *Pétiet* sont arrivés à une valeur moyenne de L égale à 0^m 28 de mercure ou 3^m.80 d'eau pour une vaporisation moyenne de 120 k. par heure. Non contents de ce résultat, ces Messieurs ont voulu en vérifier l'exactitude en recherchant la valeur de h' pour chaque angle de 5 en 5°, et ils ont obtenu des résultats à peu près analogues, variant principalement par suite des différentes vitesses de la machine.

Il reste maintenant à déterminer ce nombre par expérience au moyen d'un manomètre appliqué au tuyau d'injection; en

attendant, on peut toujours admettre en moyenne pour valeur de h' en nombres ronds, $0^{m}30$ de mercure, ou 4 mètres d'eau.

Les machines locomotives sont *sans condensation*, *à détente* ou *sans détente*. Quel que soit celui de ces deux modes que l'on adopte, la formule du travail peut s'obtenir de la manière suivante :

Soient : P, le diamètre des pistons;
r, le rayon de l'essieu coudé;
R, le rayon des roues motrices;
π, le rapport de la circonférence au diamètre;
p, le poids d'eau vaporisée par mètre quarré de surface de chauffe réduite et par heure;
n, le nombre de mètres quarrés de cette surface;
h, la pression de la vapeur sur les pistons en mètres d'eau, avant la détente;

V, le volume de vapeur correspondant à $\dfrac{n\,p}{3600}$ à la pression h;

v, la vitesse des pistons;

z la portion de cette vitesse pendant laquelle la vapeur est introduite dans le cylindre;

On a :

1° Travail avant la détente :

$$2 \times 0.785\ D^2 \times h \times 1000k. \times z$$

$2 \times 0.785\ D^2 =$ surface des deux pistons.

$1000k. =$ poids du mètre cube d'eau.

2° Travail pendant la détente :

$$2 \times 0.785\ D^2 \times h' \times 1000\,(v - z).$$

h' est une valeur moyenne entre toutes les pressions qui se manifestent dans le cylindre par suite de la dilatation de la vapeur pendant la course $v-z$. Si l'on admet la loi de *Mariotte*, que les pressions sont en raison inverse des volumes, le volume V', après la détente en un point quelconque, donnera :

$$V : V' :: h'' : h.$$

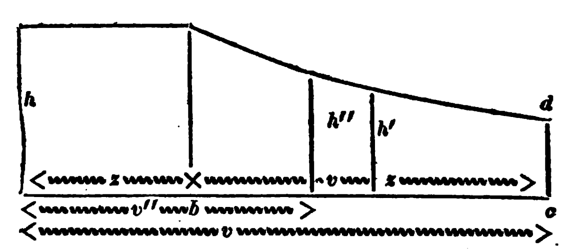
$$V = 2 \times 0.785\,D^2 z,\ \ V' = 2 \times 0.785\,D^2 v'';$$

d'où : $$h'' : h :: z : v''.$$

et :

$$h'' = \frac{h\,z}{v''}$$

A chaque valeur de v'' correspondront des valeurs de h''. Si on construit la courbe représentée par cette équation, on obtient une hyperbole rapportée à ses asymptotes :



dans laquelle le produit $(v-z)\,h'$ n'est autre que l'expression de la surface *a b c d*, qui, calculée par M. Coriolis, a été trouvée égale à :

$$z\,h \log. \frac{v}{z}\, 2.3026.$$

2.3026 étant le rapport entre les logarithmes dont la base est 10 et les logarithmes népériens ;

Il résulte de là que le travail pendant la détente est :

$$2 \times 0.705\ D^2\, 1000\, z.h \log. \frac{v}{z}\, 2.3026$$

3° Travail absorbé par la résistance de la vapeur en sens contraire du piston, par suite de la non-condensation et du rétrécissement du tuyau d'injection pour produire le tirage :

$$2 \times 0.785\ D^2\ (10^{m}.32 + h')\ 1000\ v.$$

Bien que nous ayons trouvé une valeur pour h', nous préférons le conserver en lettre, dans les formules générales, afin qu'on puisse lui appliquer, suivant les cas, sa valeur exacte.

Faisant la somme des trois expressions ci-dessus, nous, avons pour expression totale du travail par '' :

$$Tm = 2 \times 0.785\, D^2 \times 1000\, h\, z$$
$$\left(1 + \log. \frac{v}{z}\, 2.3026 - \frac{v}{z}\, \frac{(10.32 + h')}{h}\right)$$

Observant que $2 \times 0.785\, D^2\, z$ est le volume V introduit par '' à la pression h, on a, toute réduction faite :

$$Tm = V\, h \times 1000$$
$$\left(1 + \log. \frac{v}{z}\, 2.3026 - \frac{v}{z}\, \frac{(10.32 + h'}{h}\right)$$

Cette équation contient quatre variables :

V, h, z et v.

A quelles valeurs de ces variables correspond le maximum de travail produit pour une même quantité de vapeur dépensée?

V dépendant de h et z de v, il faut, pour résoudre cette question, considérer les variables 2 à 2.

1° h et v.

$V = \frac{n\,p}{3600}$ multiplié par le volume de 1 kilog. de vapeur à la pression h.

Ce volume, nous l'avons donné plus haut (article 2), et nous en déduisons :

	m.		atmosphères.		m. c.
Pour $h =$	10.32	ou	1.0	$V = \frac{n\,p}{3600}$	1.700
	15.48	—	1.5		1.172
	20.64	—	2.0		0.900
	25.80	—	2.5		0.733
	31.00	—	3.0		0.620
	36.10	—	3.5		0.539
	41.28	—	4.0		0.477
	46.44	—	4.5		0.428
	51.60	—	5.0		0.389
	56.76	—	5.5		0.357
	61.92	—	6.0		0.329

D'où résulte :

Pour $h =$ (m.)	$V\,h = \frac{n\,p}{3600}$ (m. c.)
10.32	17.50
15.48	18.15
20.64	18.60
25.80	18.80
31.00	19.20
36.10	19.45
41.28	19.69
46.44	19.82
51.60	20.72
56.76	20.26
61.92	20.37

Ainsi, plus h est grand, plus le produit V h qui se trouve dans la partie positive du deuxième membre de l'équation est grand, plus par conséquent l'effet utilisé est considérable. Il y a donc avantage à marcher à une haute pression; mais, en partique, il y a une limite résultant de la difficulté que l'on éprouve à maintenir la vapeur dans les chaudières sans fuites. Cette limite, qui dépend complètement de la perfection avec laquelle ces dernières ont été exécutées, varie entre 3 et 5 atmosphères et est, en moyenne, de 4.

Si on exprime l'effet utilisé suivant ces 3 différentes valeurs, de h on obtient :

$$\text{Pour } h = 31^{\text{m.}} \,;\; T\,m = \frac{n\,p}{3600}\, 19450$$

$$\left(1 + \log.\frac{v}{z}\, 2.3026 - \frac{v}{z}\,\frac{(10.32 + h')}{31}\right)$$

$$\text{Pour } h = 41.28 \,;\; T\,m = \frac{n\,p}{3600}\, 19690$$

$$\left(1 + \log.\frac{v}{z}\, 2.3026 - \frac{v}{z}\,\frac{(10.32 + h')}{41.28}\right)$$

$$\text{Pour } h = 51.60 : \ T m = \frac{np}{3600}\, 20072$$

$$\left(1 + \log. \frac{v}{z}\, 2.3026 - \frac{v}{z}\, \frac{(10.32 + h')}{51.60}\right)$$

2° z et v.

z étant la portion de la vitesse pendant laquelle la vapeur est introduite, on peut poser :

$$z = m\, v.$$

m est un coefficient fractionnaire pouvant avoir les diverses valeurs :

$$1.\ {}^1/_2.\ {}^1/_3.\ {}^1/_4.\ {}^1/_5.\ {}^1/_6.\ {}^1/_7.\ {}^1/_8.$$

D'autre part, on a :

$$V = 2 \times 0.785\, D^2 z$$

d'où : $$z = \frac{V}{2 \times 0.785\, D^2} = \frac{np \times \text{vol. de 1 kilog.}}{2 \times 3600 \times 0.785\, D^2}$$

et réduisant : $$z = 0.0001775 \frac{np}{D^2} \times \text{vol. de 1 k. vapeur.}$$

et $$v = 0.0001775 \frac{np}{D^2 m} \times \text{vol. de 1 k. vapeur.}$$

d'où pour :

$$h = 31^m. \left\{ \begin{array}{l} z = 0.00011 \dfrac{np}{D^2} \\ v = 0.00011 \dfrac{np}{D^2 m} \end{array} \right.$$

$$h = 41^m.\,28 \left\{ \begin{array}{l} z = 0.000085 \dfrac{np}{D^2} \\ v = 0.000085 \dfrac{np}{D^2 m} \end{array} \right.$$

$$h = 31^m.60 \begin{cases} z = 0.0000705 \dfrac{n\,p}{D^2} \\ v = 0.0000705 \dfrac{n\,p}{D^2\,m} \end{cases}$$

Si nous substituons ces valeurs de z et v dans l'une quelconque des trois équations ci-dessus, la deuxième par exemple, en donnant à m les différentes valeurs que nous venons de lui assigner, nous trouvons :

Pour $m = 1 \quad z = v \qquad T\,m = 5.46\left(0.75 - \dfrac{h'}{41.28}\right)$

$m = {}^1/_2 \quad z = {}^1/_2\, v \qquad T\,m = id. \left(1.19 - \dfrac{h'}{20.64}\right)$

$m = {}^1/_3 \quad z = {}^1/_3\, v \qquad T\,m = id. \left(1.35 - \dfrac{h'}{13.76}\right)$

$m = {}^1/_4 \quad z = {}^1/_4\, v \qquad T\,m = id. \left(1.385 - \dfrac{h'}{10.32}\right)$

$m = {}^1/_5 \quad z = {}^1/_5\, v \qquad T\,m = id. \left(1.37 - \dfrac{h'}{8.25}\right)$

$m = {}^1/_6 \quad z = {}^1/_6\, v \qquad T\,m = id. \left(1.30 - \dfrac{h'}{6.88}\right)$

$m = {}^1/_7 \quad z = {}^1/_7\, v \qquad T\,m = id. \left(1.20 - \dfrac{h'}{5.89}\right)$

$m = {}^1/_8 \quad z = {}^1/_8\, v \qquad T\,m = id. \left(1.10 - \dfrac{h'}{5.16}\right)$

Si dans ces équations, on pose $h' = 0$, qui est le cas des machines ordinaires non locomotives, le maximum de valeur de l'effet utilisé correspond à $m = {}^1/_4$, c'est-à-dire, à la relation.

$$v : z :: h : 10.32\,;$$

que l'on pourrait démontrer pour les deux autres valeurs de h comme pour celle-ci. Il suit de là que les pressions sur les pistons :

3	atmosphères et détente	au $1/3$
4	——————	au $1/4$
5	——————	au $1/5$

correspondent au maximum d'effet utile que l'on peut tirer de la machine, abstraction faite du travail nécessaire à la production du tirage.

Substituant ces valeurs de x par rapport à v dans les trois équations du travail, nous avons :

Pour $h = 31^m$. $Tm = 5.4\ np \times 1.1 = 5.94\,np$
$h = 41.28$ $Tm = 5.46\ np \times 1.385 = 7.55\,np$
$h = 51.60$ $Tm = 5.58\ np \times 1.615 = 9.00\,np$

Pour le cas des machines sans détente correspondant à $x = v$, si nous établissons ce rapport dans les trois équations, nous aurons :

Pour $h = 31$ $Tm = 5.4\ np \times 2/3 = 3.6\,np$
41.28 $Tm = 5.46\ np \times 3/4 = 4.1\,np$
51.60 $Tm = 5.58\ np \times 4/5 = 4.45\,np$

d'où nous déduisons les rapports suivants entre les effets utiles, pour les différents cas :

$h = 31^m$.	$x = v$	$Tm = 1.00$
41.28	*id.*	1.14
51.60	*id.*	1.24
31.00	$x = 1/3\ v$	1.66
41.28	$1/4\ v$	2.10
51.60	$1/5\ v$	2.50

Connaissant la puissance et la résistance, le poids P de la machine se détermine de deux manières :

1° Théoriquement, en remarquant que le frottement des roues motrices sur les rails doit faire équilibre à la pression de la vapeur sur les pistons, dans quelque position que se trouve la manivelle coudée, et par conséquent lorsque la tige agit avec son plus grand bras de levier r, sans quoi elles glisseraient sur les rails sans avancer.

2° Pratiquement, en pesant la machine quand elle est construite pleine d'eau et prête à fonctionner.

Par le premier moyen, on détermine le poids minimum que la machine doit avoir toute montée, et c'est du résultat

que l'on obtient alors, que l'on doit se rapprocher le plus possible en construisant.

Pour déterminer le poids théorique de la machine, il suffit d'établir l'égalité entre l'adhérence de la roue sur le rail multipliée par le rayon R de la roue et la pression de la vapeur sur le piston multipliée par le rayon r de la manivelle.

D'après MM. *Flachat* et *Pétiet*, la charge supportée par les roues motrices, dans une locomotive à six roues, est égale aux 0.45 du poids total P.

D'après M. *Poncelet*, le coefficient du frottement de glissement fer sur fer est 0.28 ; on a donc :

$$0.28 \times 0.45\,P \times R = r \times 2 \times 0.785\,D^2\,(h - 10.32)\,1000$$

$$\text{d'où : } P = \frac{r \times 2 \times 0.785\,D^2\,(h - 10.32)\,1000}{0.28 \times 0.45\,R}$$

et pour : $h = 31^m$ $\quad P = 258000\,\frac{D^2 r}{R}$

$41.28 \quad 386000\,\frac{D^2 r}{R}$

$51.60 \quad 512500\,\frac{D^2 r}{R}$

RÉSUMÉ.

Connaissant la puissance et la résistance, comme ces deux quantités sont égales, nous avons pour équation générale du travail dans les locomotives :

$$\Big(Q\,(K + K') + P\,K''\Big)V_1 = V\,h \times 1000$$

$$\left(1 + \log.\frac{v}{z}\,2.3026 - \frac{v\,(10.32 + h')}{z\quad h}\right)$$

Remplaçant K par 0.005
K' — 0.0055
K'' — 0.0066
V_1 — $\dfrac{\pi R}{2 r}$
h' — 4^m

on obtient :

$$1^o \; h = 31^m \text{ ou } 3 \text{ atmosphères.}$$

A détente :

$$v : z :: 31 : 10.32 + 4$$

d'où : $$z = \frac{14.32}{31} v = 0.46 \, v$$

et : $$\left(0.0055\,Q + 0.0066\,P\right)\frac{\pi R}{2 r} v = \frac{n p}{3600} \times 0.62 \times 31000 \times 0.78 = 4.15 \, n p$$

$$v = 0.0001775 \frac{n p}{D^2 \times 0.46} \times 0.62 = 0.00024 \frac{n p}{D^2}$$

Sans détente.

$$\left(0.0055\,Q + 0.0066\,P\right)\frac{\pi R}{2 r} v = \frac{n p}{3600} \times 0.62 \times 31000 \left(1 - 0.46\right) = 2.9 \, n p$$

$$v = 0.0001775 \frac{n p}{D^2} \times 0.62 = 0.00011 \frac{n p}{D^2}$$

2° $h = 41^{m}.28$ ou 4 atmosphères.

A détente :

$$v : z :: 41.28 : 14.32$$

$$z = \frac{14.32}{41.28} v = 0.346 \; v$$

et : $$\left(0.0055\ Q + 0.0066\ P\right)\frac{\pi\ R}{2\ r}\ v = \frac{n\ p}{3600} 0,477$$

$$\times\ 41280 \times 1.07 = 5.85\ n\ p$$

$$v = 0.0001775\ \frac{n\,p}{D^2 \times 0.346} \times 0.477 = 0.000245 \frac{n\,p}{D^2}$$

Sans détente.

$$\left(0.0055\ Q + 0.0066\ P\right)\frac{\pi\ R}{2\ r}\ v = \frac{n\ p}{3600} \times 0.477$$

$$\times\ 41280\left(1 - 0.346\right) = 3.58\ n\ p$$

$$v = 0.0001775\ \frac{n\ p}{D^2} \times 0.477 = 0.000085\ \frac{n\ p}{D^2}$$

3° $h = 51^{m}.60$ ou 5 atmosphères.

A détente :

$$v : z :: 51.60 : 14.32$$

$$z = \frac{14.32}{51.60} v = 0.277 \; v$$

$$\text{et : } \left(0.0055\ Q + 0.0066\ P\right) \frac{\pi\ R}{2\ r}\ v = \frac{n\ p}{3600}\ 0.389$$

$$\times\ 51600 \times 1.285 = 7.15\ n\ p$$

$$v = 0.0001775 \frac{n\ p}{D^2 \times 0.277} \times 0.389 = 0.000249\ \frac{n\ p}{D^2}$$

Sans détente.

$$\left(0.0055\ Q + 0.0066\ P\right) \frac{\pi\ R}{2\ r}\ v = \frac{n\ p}{3600} \times 0.389$$

$$\times\ 51600 \left(1 - 0.277\right) = 4\ n\ p$$

$$v = 0.0001775\ \frac{n\ p}{D^2} \times 0.389 = 0.000069\ \frac{n\ p}{D^2}$$

CHAPITRE II.

THÉORIE SPÉCIALE.

ARTICLE Ier. — DÉTERMINATION DES DIMENSIONS PROPORTIONNELLES DES DIFFÉRENTES PARTIES QUI COMPOSENT UNE LOCOMOTIVE.

Considérée sous le point de vue théorique, une locomotive se divise en 7 parties principales, qui sont :

1° Les roues motrices et les essieux coudés ;

2° La transmission du mouvement des pistons à vapeur aux roues ;

3° Les cylindres à vapeur ;

4° La distribution ;

5° La chaudière à vapeur ;

6° Les appareils de sûreté et d'alimentation ;

7° La largeur de la voie.

D'après les considérations développées dans le chapitre précédent, la pression initiale de la vapeur dans les cylindres est comprise entre 3 et 5 atmosphères. Comme, d'une part, on marche le moins possible à 3 atmosphères, et que, de l'autre, il est impossible de maintenir constamment la pression à 5, nous supposerons, dans tous les calculs qui suivront, la pression initiale dans les cylindres de 4 atmosphères.

§ 1er. — *Roues motrices et essieux coudés.*

Les dimensions proportionnelles des roues motrices et des essieux coudés sont déterminées par le rapport qui existe entre la vitesse de la machine sur la voie et celle des pistons.

La vitesse de la machine sur la voie varie généralement entre 32 et 48 kilomètres (8 et 12 lieues) à l'heure, et peut être considérée en moyenne comme de 10 lieues = 40 kilomètres, ou

$$\frac{40000}{3600} = 11^{m}.11 \text{ par }''.$$

La vitesse des pistons varie entre $1^m.80$ et $2^m.20$ par '', et peut être considérée en moyenne comme de 2 mètres.

La roue décrit une demi-circonférence pendant que le piston parcourt une course ; il suit de là que si R et r représentent les rayons des roues motrices et des manivelles coudées, on a :

$$3.1416\ R : 2\ r :: 11^m.11 : 2^m ;$$

d'où on tire :

$$R = 3.55\ r.$$

Et en nombres ronds :

Pour machines marchant à de grandes vitesses. . . . . $R = 5\ r.$

Pour machines marchant à moyennes vitesses. . . . . $R = 4\ r.$

Pour machines marchant à petites vitesses. . $R = 3\ r.$

Cela, afin de rendre à peu près constante la vitesse des pistons, qui, à 2 mètres par '', donne pour vitesse sur la voie :

1°	$15^m.65$	par '' ou	56.5	kilomètres par heure.
2°	$12^m.56$	——	45	*idem.*
3°	$9^m.41$	——	34	*idem.*

Il en résulte un nombre constant de coups de pistons dans le même temps, et, partant, une force de vaporisation constante, puisque l'injection dans la cheminée est constante.

§ 2. — *Transmission du mouvement des pistons aux roues motrices.*

Cette transmission comprend :

Les bielles ;
Les entretoises ;
Les guides.

1° *Bielles.*

Leur longueur, qui se détermine arbitrairement, est, en général, 2.5 fois la course des pistons ; on a donc :

Longueur des bielles $= 5\ r.$

2° *Entretoises.*

Elles ont la même longueur que la chaudière cylindrique, cette longueur se détermine d'après l'espace nécessaire au-

dessous de cette dernière pour la transmission du mouvement, espace qui se compose de 4 parties, savoir :

Distance entre la caisse à feu et le centre du bouton de l'essieu coudé, au bout de sa course. . . . . . . r.

Longueur de la bielle. . . . . 5 r.

Longueur de la course. . . . . 2 r.

Distance entre l'axe de la tête de la tige et de la boîte à fumée. . . . . 2 r.

Longueur des entretoises. . . . . 10 r.

3° *Guides de la tige du piston.*

Leur longueur se compose de :

1° Longueur de la course. . . . . 2 r.

2° Espace pour les glissoirs de chaque côté de la course. . . . . r.

Longueur des guides. . . . . . . 3 r.

§ 3. — *Cylindres à vapeur.*

On doit toujours se proposer, dans une locomotive, de mettre le plus grand diamètre de cylindres possible, parce que, quelque faible que soit la résistance à vaincre, on peut toujours compenser cela par la diminution du diamètre des essieux coudés, ou l'augmentation de celui des roues motrices.

Or, un cylindre avec ses brides occupe une largeur égale à environ 1.5 fois son diamètre intérieur; pour deux cylindres, on a : 3 D, ce qui correspond à une largeur de boîte à fumée égale à 3 fois le diamètre des cylindres; comme il faut laisser un certain espace entre eux pour le mouvement des leviers d'excentriques, il n'est pas commode de les faire aussi grands, et la dimension la plus convenable est $D = 0.29$ environ de la largeur de la boîte à fumée, qui étant, elle égale à 6 r, donne pour valeur du diamètre des cylindres en fonction du rayon de l'essieu coudé :

$$D = 1.75\ r.$$

§ 4. — *Distribution de la vapeur dans les cylindres et injection dans la cheminée.*



Ce paragraphe comprend :

1° Les tiroirs et lumières;

2° Les excentriques;

3° Le régulateur et le tuyau d'arrivée de la vapeur aux cylindres;

4° Le tuyau d'injection dans la cheminée.

1° Tiroirs et lumières.

Soit v' la vitesse d'écoulement de la vapeur dans l'air sous une pression de 4 atmosphères total, g l'intensité de la pesanteur, H la hauteur en mètres de la colonne de vapeur imaginaire génératrice de cette vitesse, on a :

$$v' = \sqrt{2g\,H}$$

La pression de 3 atmosphères réels sur 1 m.q. de surface est 31000k., le poids de 1 m.c. d'air à 4 atmosphères de pression est 2 k.1; il suit de là que la colonne H × 1 m. q. pèse H × 2k.1 = 31000k;

d'où : $$H = \frac{31000}{2.1} = 14800 \text{ mètres.}$$

or : $$g = 9^{m}.8088$$

donc : $$v' = \sqrt{19.62 \times 14800} = 537^{m} \text{ par}''.$$

Suivant que l'écoulement a lieu en mince paroi, par un ajutage cylindrique ou par un ajutage conique, le coefficient de la dépense est :

En mince paroi. 0.65;
Par un ajutage cylindrique. . 0.85;
Par un ajutage conique. . . 0.95.

Admettant le premier coefficient pour l'écoulement de la vapeur par les lumières, nous aurons, en appelant :

S, la surface du piston;
s, la section de la lumière;
v, la vitesse du piston;

$$0.65 \times 537 \times s = S \times v$$

d'où : $$s = \frac{Sv}{350}$$

Plus la vitesse des pistons est grande, plus la section des lumières devra être grande aussi; supposant une vitesse maxima des pistons $= 3^m$, nous aurons :

$$s = \frac{1}{116} S$$

En pratique, on est loin de baser les dimensions des lumières sur ce résultat, parce que l'ouverture totale du tiroir ne se fait pas instantanément; ce que l'on cherche, au contraire, c'est de rendre cette section aussi grande que possible.

Dans les machines sans détente le plus généralement employées, la longueur des lumières est égale aux 0.6 du diamètre du cylindre environ; sa largeur est égale à 0.1, ce qui correspond à une section $0.06 \, D^2$ de beaucoup supérieure à $\frac{1}{116} 0.785 \, D^2 = 0.0068 \, D^2$. Si nous exprimons ces dimensions en fonction du rayon de l'essieu coudé, nous aurons en nombre ronds : longueur des lumières $= r$;
largeur des lumières $= 0.2 \, r$.

Lorsque les tiroirs sont à détente, la longueur de la lumière peut rester la même que sans détente; mais il n'en est pas de même de la largeur.

En effet, d'après la disposition des doubles tiroirs, il est important de faire la lumière du cylindre plus large que celle du tiroir, sans quoi l'écoulement de la vapeur n'aurait lieu à pleine section qu'en un seul point de la course. La conséquence de cet agrandissement de la lumière du cylindre est un allongement de la course, plus un allongement du grand tiroir, et par conséquent une longueur de plate-forme plus considérable. Autant que possible, on adopte pour largeur de la lumière du cylindre le double de la largeur de celle du tiroir, correspondant à une ouverture complète des lumières pendant $\frac{1}{4}$ de la course, ce que l'on peut vérifier sur la fig. 3, Pl. I.

Comme, dans les locomotives, la course des pistons est très-petite, pour satisfaire à cette condition, on est obligé de diminuer un peu la largeur de la lumière du tiroir, ce qui n'a pas d'inconvénient pour l'entrée de la vapeur, puisque la section est encore au-dessus de la section nécessaire, et présente, en outre, l'avantage d'ouvrir et de fermer pres-

qu'instantanément la communication. Si l représente la largeur de la lumière du tiroir, on a :

$$\text{course du tiroir} = 4\,l;$$
$$\text{longueur du tiroir} = 14\,l;$$

plus quelques millimètres pour les recouvrements ; d'où suit qu'on peut évaluer la longueur de la plate-forme du tiroir à $20\,l$.

Si nous ajoutons à cela les 2 brides de la boîte à vapeur, nous trouvons environ $24\,l$ pour la longueur du cylindre entre les 2 faces de la boîte à fumée. Cette longueur étant $3r$, il suit de là qu'on a :

$$24\,l = 3\,r;$$

d'où : largeur de la lumière du tiroir $= 0.125\,r$;
largeur de la lumière du cylindre $= 0.250\,r$;

et : course du tiroir $= {}^1/_4$ course du piston.

2° *Excentriques.*

La communication entre les tiroirs et les excentriques s'opère au moyen d'une tige traversant la boîte à vapeur dans un stuffing-box, et allant recevoir son mouvement d'un levier, dit *levier du tiroir*, fixé sur un arbre appelé *arbre du tiroir*. Cet arbre reçoit son mouvement oscillatoire d'un levier dit *levier de l'excentrique*, fixé à son extrémité, et communiquant par un bouton à un crochet, dit *crochet d'excentrique*, qui est séparé de l'excentrique même par une barre, dite *barre de l'excentrique*. L'arbre du tiroir est toujours fixé entre la tige du tiroir et la tige du piston à vapeur.

Le levier de l'excentrique est simple ou double.

Quand le levier est simple, il se présente deux cas : ou le tiroir est mû par une seule excentrique, qui, pour produire la marche tantôt en avant, tantôt en arrière, affecte deux positions déterminées sur l'essieu coudé ; ou le tiroir est mû par deux excentriques fixées sur l'essieu coudé et agissant alternativement suivant le sens de la marche ; ces deux excentriques peuvent se trouver d'un même côté ou de chaque côté du cylindre ; dans la première position du levier, le bouton a une longueur double ; dans la deuxième, il y a deux leviers à bouton simple.

Dans le cas où le levier est double, il n'y a qu'une excen-

trique dont le crochet est double et prend tantôt dans le bouton du haut, tantôt dans celui du bas, suivant le sens de la marche.

Levier simple.

Soit A B (fig. 1, Pl. IX) la ligne horizontale d'axe du cylindre à vapeur, ligne passant par le centre o de l'essieu coudé, A′ B′ celle du tiroir. Soit om le rayon de cet essieu, c le centre de l'arbre du tiroir, situé en un point quelconque entre A B et A′ B′.

Quand la manivelle sera dans la position om, c'est-à-dire que le point m sera à la fin de sa course, le tiroir sera au milieu de la sienne, fermant également les deux lumières; l'excentrique sera au milieu de sa course, ainsi que le levier ca du tiroir et le levier cb de l'excentrique, lequel peut se trouver indifféremment au-dessus ou au-dessous de c.

Le milieu de la course du levier du tiroir sera la verticale ca, de chaque côté de laquelle oscille le point a, de manière que l'on a $aa' = aa'' = 1/2$ course du tiroir.

Le milieu b de la course du levier d'excentrique se déterminera en remarquant que la transmission du mouvement circulaire continu de l'excentrique au mouvement circulaire alternatif de son levier s'opère suivant une ligne droite moyenne ob passant par le centre o et le bouton b. Donc, de même que pour le levier du tiroir, la ligne cb sera perpendiculaire à ob, et on aura : $bb' = bb'' = 1/2$ course d'excentrique.

et $$bb' : aa' :: cb : ca;$$

course de l'excentrique :

$$2bb' = 2\,\frac{aa' \times cb}{ca}$$

Le centre de l'excentrique se trouve sur une circonférence décrite autour du point o comme centre avec bb' pour rayon; et, lorsque le tiroir est au milieu de sa course, si e et e' représentent les deux positions milieu du centre de l'excentrique correspondantes, on a : $eb = e'b$, dont ee' est perpendiculaire à ob.

Ainsi, quand le levier est simple, pour poser l'excentrique et les leviers, on mettra la manivelle à la fin de sa course, et le tiroir au milieu de la sienne; on élevera du centre c

une perpendiculaire à $A'B'$ pour avoir la direction du levier du tiroir; on décrira du point c comme centre une circonférence dont le rayon sera cb arbitraire, on mènera une tangente à cette circonférence par le point o, on joindra le point de contact b avec le point c, par une droite qui donnera la direction du levier de l'excentrique, par le point a on élevera une perpendiculaire ee' à ob, et on aura la direction du centre de l'excentrique.

Si l'extrémité b du levier (fig. 2) de l'excentrique se trouve au-dessous du centre c et sur la ligne AB, les perpendiculaires cb et ee' sont perpendiculaires à cette ligne, et l'excentrique est à angle droit avec la manivelle.

Levier double.

Les positions des points b et β se déterminent comme pour le levier simple; c'est-à-dire que les deux lignes cb et $c\beta$ sont perpendiculaires à ob et $o\beta$.

Il faut que le tiroir arrive au milieu de sa course aux mêmes époques, soit que le crochet d'excentrique engrène dans le bouton b, ou soit qu'il engrène dans le bouton β. Pour satisfaire à cette condition, il faut que ee' soit perpendiculaire à la fois à ob et $o\beta$, deux lignes concourant au même point, ce qui est impossible. Pour obvier à cet inconvénient, on mène $\varepsilon\varepsilon'$ perpendiculaire à oc.

Dans ce cas, on a :

$$b\varepsilon < be \quad b\varepsilon' > be' \qquad \text{comme } be = be', \text{ on a } b\varepsilon > b\varepsilon'.$$

Ce qui indique que la position milieu du tiroir correspondant à ε ne sera pas la même que celle correspondant à ε'. Le même raisonnement a lieu pour le bouton du bas; et comme ils sont placés symétriquement, les erreurs sont égales, et les deux positions milieu du tiroir sont les mêmes que pour le bouton du haut. Ces deux positions milieu du tiroir se trouvent de chaque côté de sa position milieu naturelle, et à une distance égale à $\frac{e\varepsilon \times ca}{cb}$ de cette dernière.

Il en résulte pour la marche en avant, avance du tiroir, et pour sa marche en arrière, retard, et ce, lorsque la manivelle et l'excentrique sont dans les positions relatives

représentées (fig. 3). Si le centre ε de l'excentrique, au lieu d'être au-dessus, était au-dessous, le contraire aurait lieu.

Ajoutons à cela : pour la marche en avant, lorsque le centre de l'excentrique marche devant la manivelle, le crochet d'excentrique doit prendre dans le bouton du haut. Lorsque le centre de l'excentrique marche derrière la manivelle, le crochet d'excentrique doit prendre dans le bouton du bas.

La longueur de la barre d'excentrique se déterminera en faisant l'épure comme si le levier était simple, c'est-à-dire, en déterminant les deux points e et b par la méthode du levier simple.

Ainsi, avec le levier simple, il faut deux excentriques dont les centres soient opposés, afin que leurs efforts soient égaux et contraires ; ou bien il faut une seule excentrique mobile sur l'essieu coudé, et pouvant y occuper deux positions égales et opposées.

Avec le levier double, il n'y a qu'une seule excentrique, et le crochet est double.

Pour les deux leviers, les crochets sont munis d'allonges en forme de V, qui doivent embrasser le bouton, ou à volonté dans quelque position qu'il se trouve.

3° *Tuyau d'arrivée de la vapeur.*

Connaissant la section maxima des lumières, on aura celle du tuyau d'arrivée de la vapeur en augmentant cette dernière de $^1/_5$ pour compenser les coudes et le refroidissement possible.

Section du tuyau pour un cylindre seul.

$$0.785\ d^2 = 1.2 \times 0.2\ r^2$$
$$d^2 = 0.305\ r^2$$
$$d = 0.55\ r$$

Si on n'augmente pas la section, ce qui n'est pas indispensable, on aura en nombres ronds :

diamètre du tuyau d'arrivée pour un cylindre $= 0.5\,r$.

Section pour deux cylindres.

$$0.785\ d^2 = 2 \times 0.785\,(0.55\,r)^2$$

d'où :

$$d^2 = 2 \times 0.3\ r^2$$
$$d = 0.75\ r.$$

diamètre du tuyau d'arrivée pour 2 cylindres $= 0.75\ r$

4° Tuyau d'injection dans la cheminée.

Dans le mouvement ordinaire des pistons et tiroirs, lorsque le piston est arrivé au bout de sa course, toutes les communications sont fermées par le tiroir; puis, quand le piston reprend son mouvement en sens contraire, le tiroir ouvre les lumières, et, d'une part, il arrive de la vapeur dans le cylindre, de l'autre, il en sort qui se rend à la cheminée. Ce second effet se divise en deux distincts pour les machines sans détente.

1° La vapeur, qui était soumise à une pression de quatre atmosphères, se dilate jusqu'à temps que sa pression soit devenue égale à celle de l'air, et cette dilatation se fait d'autant plus promptement que les orifices d'écoulement sont plus considérables; 2° la vapeur, une fois amenée à la pression atmosphérique dans le cylindre, n'en sort plus que par le refoulement qu'opère sur elle la marche du piston; la résistance qu'elle oppose à cette marche, est d'autant plus faible que les orifices d'écoulement sont plus considérables.

De ces deux effets, nous concluons que la section d'écoulement des cylindres à la cheminée doit être la plus grande possible.

L'effet de la dilatation de la vapeur devant se produire plutôt avant qu'après le moment où le piston commence à prendre son mouvement en sens contraire, cela parce que la résistance qu'oppose la vapeur restante à ce mouvement, est d'autant plus forte que la pression est plus élevée, il est bon d'ouvrir la communication avant qu'il ne soit arrivé à la fin de sa course. On parvient à ce résultat en donnant ce qu'on appelle de *l'avance* au tiroir, c'est-à-dire en le faisant arriver au milieu de sa course avant que le piston ne soit à la fin de la sienne.

Une avance de tiroir trop considérable a pour inconvénient de faire marcher le piston à contre vapeur pendant une partie de sa course.

Entre le retard et l'avance trop prononcée du tiroir, il y a une moyenne à laquelle correspond le maximum d'effet utile de la vapeur; c'est la recherche de cette moyenne qui a été la base des expériences à la fois utiles et intéressantes de MM. *Flachat* et *Pétiet* sur les machines du chemin de fer de Saint-Germain et Versailles (rive droite).

Suivant ces ingénieurs, avec une avance de 25° à l'excen-

trique sur sa position normale ordinaire, le travail théorique de la vapeur se trouve augmenté de 8 p. 100 en moyenne; si, à l'avance, on ajoute un *recouvrement* extérieur des lumières, égal aux $^2/_3$ de cette avance mesurée sur la plate-forme du tiroir, le travail théorique est augmenté d'au moins 15 p. 100.

L'effet du recouvrement extérieur du tiroir est d'empêcher la vapeur de la chaudière d'arriver dans le cylindre du côté opposé au mouvement avant que le piston ne soit à la fin de sa course. En faisant le recouvrement total, il n'entre pas de contre-vapeur pendant toute la fin de la course; en le faisant nul, il en entre, au contraire, pendant tout le temps de l'avance. La planche IX représente ces différents cas :

Fig. 1, 2, 3, sans avance ni recouvrement.
Fig. 4, avance sans recouvrement.
Fig. 5, avance et recouvrement des $^2/_3$.
Fig. 6, avance et recouvrement total.

Revenons au tuyau d'injection.

Si, d'une part, l'accroissement de section des orifices d'écoulement de la vapeur des cylindres à la cheminée diminue la résistance contre les pistons, et augmente, par conséquent, le travail utilisé; de l'autre, cet accroissement de section diminue la vitesse d'injection de la vapeur dans la cheminée, et ralentit le tirage du foyer, effet dont le résultat est une combustion moins vive, d'où une production de vapeur moindre dans un temps donné.

Il suit de là que quand on élargit le tuyau d'injection, la pression contraire au mouvement du piston diminuant, on peut augmenter le poids de la charge à remorquer; mais alors, il y a diminution de vitesse, la production de vapeur étant moindre par suite de la combustion moins vive. Quand, au contraire, on rétrécit le tuyau d'injection, la pression contraire au mouvement du piston augmentant, la charge remorquée diminue, mais, en revanche, la vitesse augmente, parce que le tirage de la cheminée est plus considérable. Comme dans ce second cas l'augmentation de tirage augmente aussi la dépense en combustible, il en résulte que le travail produit coûte toujours plus que dans le premier.

Cette variation dans les dimensions de l'orifice du tuyau d'injection dans la cheminée conduit à la recherche d'un tuyau à section variable. On peut arriver à ce résultat, en

plaçant dans le tuyau ayant un diamètre maximum et formant le tronc de cône, un bouchon en tôle doublement conique et pouvant s'élever ou s'abaisser à volonté, à la main. Le diamètre à la base intermédiaire serait tel que la différence de section à l'orifice d'écoulement fût égale à la section minima que cet orifice doit avoir. Suivant la hauteur de ce bouchon dans le tuyau d'injection, la vitesse d'écoulement de la vapeur sera grande ou faible, et par suite le tirage et la vaporisation.

Il paraîtrait que M. *Guyonneau de Pambour* a fait des expériences avec des tuyaux d'injection à section variable et qu'il aurait reconnu qu'il y a un diamètre convenable de ce tuyau pour chaque machine, correspondant au maximum d'effet utile.

Il doit en être, en effet, ainsi, parce que le tirage dépend des cinq quantités :

Surface de la grille ;
Section des tubes de circulation dans la chaudière ;
Section des cylindres à vapeur ;
Section du tuyau d'injection ;
Section de la cheminée.

Or, en admettant que l'on se donne quatre de ces quantités arbitrairement, il y aura toujours la cinquième qu'il faut déterminer par le calcul ou l'expérience. Le calcul a pour graves inconvénients de nécessiter une foule d'hypothèses sur des résultats que l'on ne connaît pas ; aussi, ne nous semble-t-il pas heureusement applicable ici. Pour cette raison, nous n'indiquerons pas le diamètre au sommet du tuyau d'injection, nous dirons seulement que son diamètre à la base doit être au moins égal à celui du tuyau d'arrivée pour un cylindre, c'est-à-dire 0.5 *r*. A ce sujet nous dirons quelques mots sur un appareil qu'emploient certains constructeurs pour diminuer à volonté le tirage dans les machines, et dont le grand vice est de ne pas diminuer la résistance opposée au mouvement du piston, tout en diminuant son influence sur la combustion. Cet appareil consiste en une petite porte placée dans la boîte à fumée, et mobile à la main. Quand le tirage est trop fort, on ouvre cette porte, et alors il entre de l'air qui remplace dans la cheminée une partie de celui qui passe par le foyer, et diminue ainsi l'appel opéré sur ce dernier.

Cet appareil, si on l'emploie très-rarement, peut être préférable à celui que nous avons proposé plus haut, parce qu'il s'exécute plus commodément, et que, dans ce cas, l'économie n'est pas à rechercher ; mais si une machine est destinée à remorquer des charges variables, à des vitesses différentes, et cela souvent, il est de toute importance de lui substituer le premier, ou celui représenté fig. 13, 14 et 15, Pl. XVIII.

§ 5. — *Chaudière à vapeur.*

Dans la vaporisation, il se produit trois effets :

1° Le combustible brûle ;

2° La chaleur produite par sa combustion traverse les parois du foyer et des canaux de circulation de la fumée ;

3° L'eau contenue dans la chaudière entre en ébullition.

Nous avons dit plus haut que 1 kilog. de coke, produisant 7000 unités de chaleur, pouvait vaporiser au maximum, théoriquement, $\frac{7000}{650} = 10.k.80$ d'eau. Pour arriver à ce nombre, en pratique, il faudrait que l'eau entrât dans la chaudière en sens inverse de la fumée, afin que la température de cette dernière sortant des tubes soit égale à celle de l'eau entrant dans la chaudière, ce qui n'est pas praticable dans les locomotives actuelles. Le maximum d'économie que l'on puisse atteindre, c'est de perdre la fumée à 150° au minimum, pour 4 atmosphères de pression intérieure correspondant à 145° pour température de l'eau. Dans ce cas, en admettant 18 mètres c. d'air froid employé par kilog. de coke brûlé, la chaleur emportée dans la cheminée par kilog. de coke, est : $24k. \times 0.262 \times 150 = 945$ unités de chaleur, et le maximum de vapeur donnée théoriquement par 1 kilog. de coke, est 9 k. 30.

D'après les formules du travail trouvées précédemment, si on fait : $\frac{n\,p}{3600} = 1$ kilog., on trouve que le travail théorique de 1 kilog. vapeur à 4 atmosphères, est :

1° A détente au $^1/_4$:

$$5.46 \times 1.385 \times 3600 = 27400 \text{ kilogrammètres.}$$

2° Sans détente :

$$5.46 \times 0.75 \times 3600 = 14787 \text{ kilogrammètres.}$$

D'où résulte que le travail théorique maximum de 1 kilog. de coke dans les locomotives, à 4 atmosphères, est :

1° A détente au $^1/_4$:

$$27400 \times 9.30 = 255000 \text{ kilogrammètres.}$$

2° Sans détente :

$$14787 \times 9.30 = 137500 \text{ kilogrammètres.}$$

Tels sont les nombres dont on doit tendre à se rapprocher, bien que jamais on ne soit destiné à y arriver, le travail absorbé par le tirage de la cheminée et les frottements de la machine ne pouvant s'annuler complètement.

D'autre part, afin de retirer du combustible assez de chaleur pour que la température de la fumée entrant dans la cheminée ne dépasse par 150°, il faut une surface de chauffe énorme, comme on a pu s'en convaincre en lisant le tableau que nous avons donné lors de la vaporisation.

Aujourd'hui, on en est à consommer 24 kilog. de coke par mètre quarré de surface de chauffe réduite, donnant pour cela, au maximum, 100 kilog de vapeur utile; d'où résulte que 1 kilog. de coke ne donne que :

1° A détente :

$$\frac{100}{24} \times 27400 = 114000 \text{ kilogrammètres.}$$

2° Sans détente :

$$\frac{100}{24} \times 14787 = 61500 \text{ kilogrammètres.}$$

c'est-à-dire moins de moitié que ce qu'il possède réellement.

Dans ce cas, le rapport entre la surface de chauffe des tubes et celle de la boîte à feu est comme 9 : 1.

Une question assez grave se présente ici :

Pour tirer un plus grand effet utile du combustible, est-ce la surface de chauffe rayonnante qu'il faut augmenter, ou la surface de chauffe par contact ?

Si on augmente la surface de la caisse à feu, la quantité de coke brûlé devant rester constante, il faut de toute nécessité l'allonger, la largeur étant maxima, ce qui, du reste, ne présente d'inconvénient que d'allonger la machine, écarter les roues et allonger la grille.

Si, au contraire, on augmente la surface des tubes, alors c'est la voie qu'il faut élargir, car, dans les machine actuelles, la surface de chauffe des tubes est toujours maxima, de quelque peu de vapeur qu'on ait besoin, parce que s'il s'en produit trop, rien n'est plus simple que de diminuer le tirage en agrandissant l'orifice du tuyau d'injection.

Ne pouvant nous prononcer, faute d'expériences suffisantes sur la matière, à savoir lequel des deux moyens ci-dessus on doit employer, nous n'envisagerons ici qu'un seul cas, celui de l'augmentation de surface des tubes, l'autre ne présentant qu'un intérêt très-secondaire dans la question fondamentale, le prix d'établissement, et pouvant se résoudre facilement sous ce dernier rapport, dans le cas où on serait tenté de l'appliquer.

Une chaudière de locomotive se divise en 4 parties distinctes :

1° La grille;
2° La caisse à feu;
3° Les tubes et la chaudière cylindrique;
4° La cheminée.

1° *Grille*.

A quantités égales de combustible brûlé dans le même temps, la quantité d'air employé à la combustion est d'autant plus petite que la grille est plus petite, cela parce que la hauteur du combustible sur la grille étant plus grande, le contact de l'air et du charbon en feu a lieu pendant plus longtemps. Il suit de là que, théoriquement, le travail à dépenser est moindre pour une petite grille que pour une grande; en est-il autrement pratiquement? les frottements ne sont-ils pas augmentés dans le rapport de l'économie d'air? C'est ce qu'on ne peut dire, toujours faute d'expériences.

Quel que soit le résultat probable, les grandes grilles entraînant avec elles une plus grande consommation d'air, d'où une différence de température moindre dans les tubes, et, en outre, une plus grande dimension de caisse à feu,

quelquefois inutile; on peut conclure qu'il faut donner aux grilles des dimensions minima.

On est arrivé aujourd'hui à brûler facilement 5 kilog. de coke par décimètre quarré de surface de grille et par heure, en donnant au combustible une hauteur de $0^m.50$ à $0^m.60$ au-dessus de la grille.

Sans prédire si ce chiffre sera plus tard dépassé, nous croyons qu'il est bon de calculer les surfaces de grilles sur cette donnée.

Dans le cas où la caisse à feu suit les dimensions de la grille, cette dernière a pour largeur le diamètre de la chaudière cylindrique, que nous appellerons Δ, parce qu'il sert de terme de comparaison pour toutes les parties qui nous restent maintenant à étudier. Pour avoir la longueur de la grille, la quantité de coke brûlé par décimètre quarré de surface de grille et par heure étant 5 kilog., on a :

$$\text{longueur de la grille} \times \Delta = \frac{P'}{500}$$

P' étant la quantité de coke brûlée par heure, et 500 celle par mètre quarré de surface de grille dans le même temps.

d'où : $$\text{longueur} = \frac{P'}{500\,\Delta}$$

2° *Caisse à feu.*

La largeur de la caisse à feu est, comme celle de la grille, égale au diamètre de la chaudière cylindrique ou Δ; sa hauteur, qui se compose de la hauteur du combustible sur la grille, plus la hauteur réservée aux tubes, s'obtient par les considérations suivantes :

1° L'eau ne s'élève jamais, dans la chaudière, au-delà des 0.75 de son diamètre, sans quoi une trop grande quantité de cette dernière est emportée en suspension par la vapeur qui se rend aux cylindres; or, il faut 10 centimètres environ de distance entre le dessus de la surface de chauffe et le niveau de l'eau, pour n'avoir pas à craindre le découvrement de la première par suite d'une évaporation trop considérable par rapport à l'alimentation. Reste $0.65\,\Delta$ environ pour hauteur de la caisse à feu au-dessus du combustible, ce dernier devant avoir de $0^m.50$ à $0^m.60$ au-dessus

de la grille, on donne 0.5 Δ de haut à la capacité du foyer; ce qui fait en total :

Hauteur de la caisse à feu :

$$= (0.65 + 0.5)\ \Delta = 1.15\ \Delta.$$

Quant à la longueur, elle dépend complètement du rapport que l'on adopte entre les surfaces de chauffe directe et de chauffe par contact. Si nous appelons m ce rapport, S la surface des tubes, et l la longueur de la caisse à feu, on a :

Surface de la caisse à feu :

$$l\,(\Delta + 2.3\ \Delta) + 2\ \Delta \times 1.15\ \Delta$$

et, rapport entre les surfaces :

$$l \times 3.3\ \Delta + 2.3\ \Delta^2 = \frac{S}{m}$$

d'où :

$$l = \frac{S}{3.3\ m\ \Delta} - 0.7\ \Delta$$

Comme on le voit, les dimensions de la caisse à feu se trouvent indépendantes de celles de la grille. Ce résultat, quoique contraire à ce qui se fait généralement, est indispensable pour satisfaire en même temps aux deux conditions de surface de grille minima et de rapport m arbitraire entre les surfaces de chauffe. Cette indétermination de m est d'une très-grande importance, en ce qu'elle pourra conduire par la suite à la détermination de la largeur de voie la plus convenable, par une simple équation.

3° *Tubes*.

L'emploi des tubes, comme surface de chauffe dans les locomotives, est basé sur le principe suivant :

La somme des circonférences d'un nombre quelconque de cercles, égalant ensemble une surface donnée, est d'autant plus grande que le nombre des cercles composants est plus considérable.

En effet, soient D et d les diamètres de deux cercles, pour lesquels on a :

$$n \text{ surf. } D = S$$
$$n' \text{ surf. } d = S$$

d'où :

$$n \text{ surf. } D = n' \text{ surf. } d.$$

et $$\text{surf. D} = \frac{n'}{n}\ \text{surf. } d.$$

On aura, d'après les principes de la géométrie élémentaire :

1° Surf. D : surf. d :: D^2 : d^2
2° Circ. D : circ. d :: D : d
3° Surf. D : surf. d :: circ.^2 D : circ.^2 d

4° Circ. D : circ. d :: $\sqrt{\text{surf. D}}$: $\sqrt{\text{surf. } d}$

$$5^\circ\ \text{Circ. } d = \sqrt{\frac{\text{surf. } d}{\text{surf. D}}} \times \text{circ. D}$$

$$6^\circ\ \text{Circ. } d = \sqrt{\frac{n}{n'}} \times \text{circ. D}$$

$$7^\circ\ n'\ \text{circ. } d = \sqrt{n\,n'} \times \text{circ. D}$$

Soit : $n = 1$, surf. D $=$ S

et $$n'\ \text{circ. } d = \sqrt{n'}\ \text{circ. D}$$

n' circ. d = somme des circonférences de cercles composants, dont nous déduisons :

La longueur du périmètre total des cercles composants est proportionnelle à la racine quarrée de leur nombre ; ainsi on a :

Nombre des cercles composants.	Longueurs correspondantes de la somme des circonférences.
1	1
4	2
9	3
16	4
25	5
36	6
49	7
64	8
81	9
100	10

La surface de chauffe d'un tube est égale à sa circonférence multipliée par sa longueur ; donc, pour une même section d'écoulement, la surface de chauffe est d'autant plus grande que le nombre des tubes est plus considérable. Il résulte de là que, puisqu'il faut donner aux tubes le plus de surface de chauffe possible, leur nombre doit être le plus grand et par conséquent leur diamètre le plus petit possible ; la section d'écoulement étant constante pour une valeur donnée de Δ.

La distance la plus rapprochée que l'on puisse mettre entre deux tubes est la moitié de leur diamètre ; alors, pour que la perte d'espace soit minima, la place occupée par un tube est un hexagone régulier dont le diamètre intérieur est égal à 1.5 fois celui du tube ; la surface d'un hexagone régulier est égale à 0.875 du quarré du diamètre intérieur, lequel étant égal à $(1.5)^2\,d^2 = 2.25\,d^2$, donne pour valeur de la surface de l'hexagone occupée par un tube en fonction de son diamètre :

$$0.875 \times 2.25\,d^2 = 1.97\,d^2$$

que l'on peut porter à $2\,d^2$ au moins, si on a égard aux pertes de surfaces provenant des contours de la chaudière.

La section de la chaudière cylindrique est $0.785\,\Delta^2$; les tubes partent de 10 centimètres environ au-dessus du fond, afin que les dépôts ne les recouvrent pas, ce qui les exposerait à être brûlés, et montent jusqu'à 0.65 du diamètre. Si on calcule, d'après cela, la surface qui les contient, on trouve qu'elle est égale à $0.50\,\Delta^2$; on obtient alors leur nombre, en posant :

$$\text{Nombre des tubes } N = \frac{0.50\,\Delta^2}{2\,d^2} = 0.25\,\frac{\Delta^2}{d^2}$$

Ordinairement on met un espace de 10 centimètres entre la caisse à feu et son envoloppe correspondant à $^1/_{10}\,\Delta$; alors la longueur des tubes est égale à $2.1\,\Delta$, Δ étant égal à $3\,r$.

La surface de chauffe des tubes se trouve être dans ce cas :

$$S = 3.1416\,d \times N \times 2.1\,\Delta = 1.65\,\frac{\Delta^3}{d}$$

et la longueur de la caisse à feu :

$$l = \frac{S}{3.5 m \Delta} - 0.7 \Delta = \frac{1.65 \Delta^3}{3.3 m \Delta d} - 7.0 \Delta = \frac{0.5 \Delta^2}{m d} - 0.7 \Delta$$

4° Cheminée.

Toute la question de la cheminée se résume dans la détermination de son diamètre, sa longueur étant déterminée par la hauteur des voûtes que les machines ont à traverser. Malgré cela, la longueur de la cheminée n'est pas sans importance, car c'est pendant le trajet que parcourt la vapeur dans cette dernière, que se produit le tirage ; au-delà, s'il y a appel, c'est l'air extérieur qui afflue en dessous. Il est donc bon de ne pas faire les cheminées trop courtes : 2 mètres est la hauteur que l'on donne assez généralement ; en dimensions proportionnelles cette hauteur correspond à 2 Δ, mais n'est pas rigoureuse.

Quant au diamètre, comme nous l'avons dit, lors du tuyau d'injection, les hypothèses que l'on est obligé de faire sur la consommation d'air, les frottements et la température de la cheminée mettent dans l'impossibilité d'appliquer avec succès le calcul à la détermination des diamètres rigoureux de ces deux parties. Tout ce qu'on peut dire sur l'action de la vapeur injectée dans la cheminée, c'est qu'en se dilatant elle forme comme un piston qui s'élève en sens contraire de la pression atmosphérique et maintient à la pression H''' l'espace au-dessous pour produire l'appel de l'air brûlé.

Plus le diamètre de la cheminée est petit, plus grande est la vitesse à son intérieur, et plus grand est le travail dépensé pour produire le tirage, parce que la pression génératrice de l'écoulement est proportionnelle à cette vitesse ; mais, d'autre part, plus grand est le diamètre de la cheminée, plus faible est l'action de la vapeur dilatée contre l'atmosphère. Il faudrait trouver le point où cette dilatation étant maxima et le diamètre du tuyau d'injection maximum, le tirage est encore suffisant ; il faudrait pour cela faire des expériences non-seulement avec des tuyaux d'injection à sections variables, mais encore avec des cheminées à sections aussi variables.

C'est en vain que nous avons essayé d'établir des équations pour arriver à un résultat satisfaisant, ce que nous avons dit à l'article combustion est, ce nous semble, ce qu'il y a de possible en calcul sur ce sujet, l'expérience doit faire le reste.

§ 6. — *Appareils de sûreté et d'alimentation.*

1° APPAREILS DE SURETÉ.

1° *Soupapes de sûreté.*

Les diamètres des soupapes de sûreté sont déterminés d'après la quantité de vapeur que les chaudières sont destinées à produire dans un temps donné.

D'après ce, soit P la quantité maxima de vapeur que peut donner 1 mètre q. de surface de chauffe réduite dans une seconde, *n* le nombre de mètres quarrés de cette dernière; il faut que la soupape, soulevée, laisse échapper toute la vapeur produite pendant le même temps, pour que la pression n'augmente pas dans la chaudière, résultat dont l'effet serait de déformer cette dernière ou de la faire éclater. La pression atmosphérique étant $0^m.76$, et celle dans la chaudière *h*, $h - 0.76$ est la pression génératrice de la vitesse *v* d'écoulement de la vapeur à travers la soupape.

Or, pour l'écoulement des fluides, on a :

$$V = \sqrt{19.62\,H}$$

H étant la hauteur d'une colonne du fluide équivalente à la différence des pressions intérieure et extérieure; si *d* est le poids du mètre cube de la vapeur qui s'écoule à la pression *h*, celui du mètre cube de mercure étant 13590 kilog. et D′ le diamètre de la soupape de sûreté, on a :

$$0.785\,D'^2 \times d \times H = 13590\,(h - 0.76)\,0.785\,D'^2$$

d'où :

$$H = \frac{13590\,(h - 0.76)}{d}$$

et :

$$V = \sqrt{19.62\,\frac{13590\,(h - 0.76)}{d}}.$$

Soit V le volume à la pression *h* de la vapeur produite par ″, on a :

$$0.65\,v \times 0.785\,D'^2 = V$$

0.65 étant le coefficient de la dépense en mince paroi.

$$\text{d'où :}\quad D'^2 = \frac{V}{0.65 \times 0.785 \sqrt{19.62 \quad \frac{13590\,(h - 0.76)}{d}}}$$

Nous avons dit qu'on produisait en moyenne aujourd'hui, pour surface de tubes égale à 9 fois la surface de la caisse à feu, 120 kilog. de vapeur par heure et par mètre quarré de surface de chauffe réduite. Cette quantité peut être portée bien au-delà ; et, comme le diamètre des soupapes de sûreté doit être déterminé d'après la production maxima, nous supposerons que la production possible de vapeur par mètre quarré de surface de chauffe exprimée en surface de chauffe directe, est de 500 k. par heure. Alors $\frac{n \times 500\text{k.}}{3600}$ représente la quantité maxima de vapeur produite par seconde. h étant 4 atmosphères, on a :

$$V = \frac{n \times 500}{3600}\ 0\ \text{m.c.}\ 477 = 0.0665\,n$$

$$\text{d'où :}\quad D'^2 = \frac{0.0665\,n}{0.65 \times 0.785 \sqrt{19.62 \times \frac{13590 \times 2.28}{2.10}}}$$

$$\text{et :}\quad D' = 0.01\,56 \sqrt{n}$$

Pour appliquer cette formule à tous les rapports entre la surface de chauffe par contact et la surface de chauffe directe, nous remarquerons que 1 mètre quarré de surface de chauffe réduite représente, dans les locomotives actuelles, $\frac{50}{20} =$ 2 m. q. 5 de surface de chauffe totale, d'où n est la même chose que 2.5 n', n' étant la surface de chauffe totale ; on en

déduit $$n = \frac{n'}{2.5}$$

et : $$D' = 0.0156 \sqrt{\frac{n'}{2.5}} = 0.01 \sqrt{n'}$$

2° *Manomètre.*

Le manomètre, ou mesure de la pression intérieure, est basé sur ce principe, que les volumes du gaz sont en raison inverse des pressions et proportionnels aux températures.

Soit bc (Pl. III, fig. 4) un cylindre d'air renfermé dans un tube bouché en c recourbé inférieurement et rempli de mercure dans les deux branches, à la même hauteur ab, sous la pression $0^m.76$ de mercure, et à t^o du thermomètre centigrade ; H la hauteur bc.

Pour avoir ce volume à une pression h' et une température t', les sections de la colonne étant constantes, on posera :

$$H' = H \frac{h}{h'} \times \frac{1 + 0.00375\ t'}{1 + 0.00375\ t}$$

Si s est la section bb' et S la section aa' dans la colonne à côté, le mercure a monté dans la branche bc d'une hauteur égale à $H - H'$, et a baissé dans la branche ad d'une hauteur égale à $\frac{S}{s}(H - H')$; la différence de niveau entre les deux branches est donc : $(H - H')\left(1 + \frac{S}{s}\right)$. Cette hauteur de la colonne de mercure a un certain poids qui diminue d'autant la pression exercée sur la colonne bc ; d'où résulte que le manomètre n'indique que la différence de deux pressions. Si h_1 représente la pression réelle dans la chaudière, on a :

$$h_1 = h' + (H - H')\left(1 + \frac{S}{s}\right)$$

d'où on tire :

$$h' = h_1 - (\mathrm{H} - \mathrm{H}')\left(1 + \frac{\mathrm{S}}{s}\right)$$

et :
$$\mathrm{H}' = \mathrm{H}\,\frac{h\,(1 + 0.00375\,t')}{\left(h_1 - (\mathrm{H} - \mathrm{H}')\left(1 + \frac{\mathrm{S}}{s}\right)\right)(1 + 0.00375\,t)}$$

Dans la graduation du manomètre, on suppose en pratique :

$$t = t',\ h = 0\text{m}.76 \quad \mathrm{S} = \infty$$

ce qui réduit la valeur de H', à :

$$\mathrm{H}' = \mathrm{H}\,\frac{0.76}{h_1 - \mathrm{H} + \mathrm{H}'}$$

d'où :
$$\mathrm{H}'\,h_1 - \mathrm{H}'\,\mathrm{H} + \mathrm{H}'^2 = 0.76\ \mathrm{H}$$

$$\mathrm{H}'^2 + \mathrm{H}'\,(h_1 - \mathrm{H}) - 0.76\,\mathrm{H} = 0$$

et :
$$\mathrm{H}' = -\frac{h_1 - \mathrm{H}}{2} \pm \sqrt{\frac{(h_1 - \mathrm{H})^2}{4} + 0.76\,\mathrm{H}}$$

pour différentes valeurs données à h_1 ou à des valeurs correspondantes de H'.

2° APPAREILS D'ALIMENTATION.

Diamètre des pistons des pompes.

La vitesse des pistons des pompes est la même que celle des pistons à vapeur. La quantité d'eau qu'ils doivent fournir chacun est à la quantité de vapeur utilisée en poids :: 144 : 90, c'est-à-dire 1.6 de cette dernière. Le volume de 1 k. de vapeur à quatre atmosphères étant 0.477 et celui de 1 k. eau 0 m. c. 001, à dépenses égales, la section des cylindres devrait être 477 fois celle d'une des deux pompes; mais comme la dépense des pompes, en poids, est 0.0016, la surface

des deux pistons à vapeur sera seulement $\frac{477}{1.6} = 297.5$ fois celle d'un des pistons des pompes.

On aura alors :

$$297.5 \times 0.785\, d^2 = 2 \times 0.785\, D^2 = 2 \times 0.785 \times (1.75)^2\, r^2$$

d'où : $d = 0.082\, D = 0.143\, r$

en nombres ronds : $d = 0.15\, r$.

§ 7. — *Largeur de la voie.*

La largeur de la voie est la distance transversale minima entre les milieux des deux roues. Or, la distance intérieure minima entre les roues est au moins égale à la largeur de l'enveloppe de la caisse à feu ou $1.2\, \Delta$. L'épaisseur des roues, qui varie entre 10 et 15 centimètres, peut être comptée en moyenne comme $0.1\, \Delta$; ajoutant $0.05\, \Delta$ de chaque côté pour le jeu, il vient :

Largeur de la voie $= (1.2 + 0.1 + 2 \times 0.05)\, \Delta = 1.4\, \Delta$

RÉSUMÉ.

Rassemblant tous les résultats obtenus ci-dessus sur les dimensions proportionnelles des parties principales d'une locomotive, nous formerons le tableau suivant.

TABLEAU des dimensions proportionnelles des parties principales qui composent une locomotive.

NATURE DES PARTIES.	EN FONCTION du rayon de l'essieu coudé.	EN FONCTION du diamètre de la chaudière cylindrique.
Rayon de l'essieu coudé. . . .	r	$0.2\ \Delta$
Diamètre des roues motrices pour grandes vitesses.	$10\ r$	$2\ \Delta$
Diamètre des roues motrices pour moyennes vitesses.	$8\ r$	$1.6\ \Delta$
Diamètre des roues motrices pour petites vitesses.	$6.66\ r$	$1.33\ \Delta$
Longueur des bielles. . . .	$5\ r$	Δ
Id. des entretoises. . .	$10\ r$	$2\ \Delta$
Id. des guides. . . .	$3\ r$	$0.6\ \Delta$
Diamètre des cylindres à vapeur.	$1.75\ r$	$0.35\ \Delta$
Longueur des lumières. . . .	r	$0.2\ \Delta$
Largeur des lumières. . . .	$0.2\ r$	$0.04\ \Delta$
Diam. des tuyaux d'arrivée de la vapeur:		
1° pour les deux cylindres.	$0.75\ r$	$0.15\ \Delta$
2° pour un seul cylindre. .	$0.5\ r$	$0.10\ \Delta$
Diam. du tuyau d'injection dans la chem.	indéterminé	
Largeur de la grille du foyer. .	$5\ r$	Δ
Longueur *id.*	$\frac{P'}{2.500\ r}$	$\frac{P'}{500\ \Delta}$
Largeur de la caisse à feu. . .	$5\ r$	Δ
Hauteur *id.*	$5.75\ r$	$1.15\ \Delta$
Longueur *id.*		$\frac{0.5\Delta^2}{m\ d} - 0.7\Delta$
Nombre des tubes.	$6.25\ \frac{r^2}{d^2}$	$0.25\ \frac{\Delta^2}{d^2}$
Surface de chauffe directe. . .		$\frac{1.65\ \Delta^3}{m\ d}$
Surface de chauffe par contact.		$1.65\frac{\Delta^3}{d}$
Diamètre de la cheminée. . .	$1.75\ r$	$0.35\ \Delta$
Diamètre des soupapes de sûreté.	indéterminé	
Diam. des pistons des pompes aliment.	$0.15\ r$	$0.03\ \Delta$

ARTICLE II. — APPLICATION DES FORMULES OBTENUES DANS LES ARTICLES PRÉCÉDENTS, A QUELQUES CAS PARTICULIERS.

Dans les locomotives actuelles, la consommation en combustible est de 500 k. par heure, la surface totale de la grille ayant la même section horizontale que la caisse à feu, et la largeur de la voie étant environ de 1m. 50. Conservant la dépense 500 kilog. et le rapport de section entre la grille et la caisse à feu, nous allons déterminer les effets utiles relatifs pour différentes largeurs de voie, et, partant, l'économie que chacune d'elles peut présenter.

A cet effet, nous considérerons les 6 valeurs suivantes de Δ, diamètre de la chaudière cylindrique :

1m. 1m.10, 1m.20, 1m.30, 1m.40, 1m.50

donnant pour valeur de r, rayon de l'essieu coudé :

0m.20, 0m.22, 0m.24, 0m.26, 0m.28, 0m.30

Nous considérerons en outre le seul cas où le diamètre des tubes d est de 4 centimètres.

§ 1er. — *Détermination des dimensions des différentes parties.*

1° Largeur de la voie.

Nous avons trouvé :

$$\text{Largeur de la voie} = 1.4\ \Delta$$

d'où :

1m.40, 1m.54, 1m.68, 1m.82, 1m.96, 2m.10

2° Diamètre des roues motrices.

1° Grandes vitesses	10	r	ou 2	Δ
2° Vitesses moyennes.	8	r	1.6	Δ
3° Petites vitesses.	6.66	r	1.33	Δ

d'où :

1°	2m. ,	2m.20,	2m.40,	2m.60,	2m.80,	3m.00
2°	1.60,	1m.76,	1m.92,	2m.08,	2m.24,	2m.40
3°	1.33,	1m.46,	1m.60,	1m.73,	1m.86,	2m.00

3° Longueur des bielles.

5 r ou Δ

1m. 1m.10, 1m.20, 1m.30, 1m.40, 1m.50

4° Longueurs des entretoises et de la chaudière cylindrique.

10 r ou 2 Δ

2m 2m.20, 2m.40, 2m.60, 2m.80, 3m.

5° Longueurs des guides.

3 r ou 0.6 Δ

0m.60, 0m.66, 0m.72, 0m.78, 0m,84, 0m.90

6° Diamètres des cylindres à vapeur.

1.75 r ou 0.35 Δ

0m.350, 0m.385, 0m.420, 0m.455, 0m.490, 0m.525

7° Longueurs des lumières des tiroirs.

r ou 0.2 Δ

0m.20, 0m.22, 0m.24, 0m.26, 0m.28, 0m.30

8° Largeur des lumières des tiroirs.

0.2 r ou 0.04 Δ

0m.040, 0m.044, 0m.048, 0m.052, 0m.056, 0m.060

9° Diamètres du tuyau d'arrivée de la vapeur pour les deux cylindres.

0.75 r ou 0.15 Δ

0m.150, 0m.165, 0m.180, 0m.195, 0m.210, 0m.225

10° Diamètres du tuyau d'arrivée de la vapeur pour un cylindre.

0.5 r ou 0.1 Δ

0m.10, 0m.11, 0m.12, 0m.13, 0m.14, 0m.15

11° Largeur de la grille du foyer et de la caisse à feu.

5 r ou Δ

1m, 1m.10, 1m.20, 1m.30, 1m.40, 1m.50

12° Longueur de la grille du foyer et de la caisse à feu.

$$\frac{500}{2500\ r} \text{ ou } \frac{500}{500\ \Delta}$$

1m. 0m.91, 0m.83, 0m.77, 0m.72, 0m.66

13° Hauteur de la caisse à feu.

$5.75\ r$ ou $1.15\ \Delta$

1m.15, 1m.27, 1m.38, 1m.50, 1m.61, 1m.72

14° Nombre des tubes.

$$0.25\ \frac{r^2}{d^2} \text{ ou } 0.25\ \frac{\Delta^2}{d^2}$$

156, 190, 228, 264, 305, 350

15° Diamètre de la cheminée.

$1.75\ r$ ou $0.35\ \Delta$

0m.350, 0m.375, 0m.420, 0m.455, 0m.490, 0m.525

16° Diamètres des soupapes de sûreté.

$D' = 0.01 \sqrt{n'}$ n' = surface de chauffe totale.

0m.07, 0m.08, 0m.09, 0m.10, 0m.11, 0m.12

17° Diamètres des pistons des pompes alimentaires.

$0.15\ r$ ou $0.03\ \Delta$

0m.030, 0m.033, 0m.036, 0m.039, 0m.042, 0m.045

§ 2. — *Conséquences du paragraphe précédent.*

1° Surface de chauffe directe :

$$\frac{1.65\ \Delta^3}{m\ d}$$

Expression dans laquelle on a :

$$m = \frac{0.5\ \Delta^2}{d\ l + 0.7\ d\ \Delta}$$

ou :	7.30	9	10.70	12.50	14.30	16.20

l étant la longueur de la caisse à feu, ce qui donne pour surface de chauffe directe, en remplaçant m par sa valeur :

$$3.3\ \Delta\ l + 2.3\ \Delta^2$$

et :

m. q. 5.60	m. q. 6.10	m. q. 6.62	m. q. 7.20	m. q. 7.80	m. q. 8.50

2° Surface de chauffe par contact :

$$1.65\ \frac{\Delta^3}{d}$$

m. q. 41	m. q. 55	m. q. 71	m. q. 90	m. q. 112	m. q. 138

3° Surface de chauffe totale.

m. q. 46.60	m. q. 61.10	m. q. 77.62	m. q. 97.20	m. q. 119.80	m. q. 146.50

4° Quantité de coke brûlée par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale, en moyenne :

10k.73	8k.15	6k.40	5k.12	4k.17	3k.40

5° Quantité de chaleur passant par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale, en moyenne :

Unités de chaleur.

32000	28000	25000	22000	19000	16500

Ceci, en admettant comme exact le dernier tableau que nous avons donné à l'article vaporisation, tableau dont nous avons extrait les nombres ci-dessus.

6° Quantité de chaleur utilisée par kilog. de coke brûlé.

Unités de chaleur.

2960	3420	3550	3950	4250	4550

7° Vérification des nombres ci-dessus.

1° Température de la fumée sortant des tubes :

630°	575°	530°	480°	430°	395°

2° Chaleur perdue par kilog. de coke, en supposant 18 m. c. air froid employé à sa combustion :

Unités de chaleur.

3960	3625	3340	3020	2700	2500

3° Quantité totale de chaleur donnée par kilog. de coke.

6920	7045	6890	6970	6950	7050

Tous nombres fort rapprochés de 7000 et n'en différant que parce que les quantités de chaleur transmise au liquide ont été déterminées approximativement.

8° Dépense en argent pour une production égale de vapeur, celle pour largeur de voie 1m.54 étant 1.

1.18	1	0.965	0.870	0.805	0.760

On déduit de là, que pour une largeur de voie de 2m. 10 pouvant se réduire à 2 mètres pratiquement, la consommation en combustible est diminuée de 1/4. En supposant douze heures de marche par jour et par machine, la consommation en coke étant 500 × 12 = 6000 kilog. pour largeur de voie

= 1 m. 50, ne sera que 0.76 × 6000 = 4550 kilog. pour largeur de voie = 2 mètres. Suivant que le coke reviendra à 50, 75 ou 100 fr. les 1000 kilog., l'économie réalisée par une largeur de voie de 2 mètres sera de 72 fr. 50, 109 fr. ou 145 fr. par machine et par jour.

Les frais résultant de l'augmentation de largeur de la voie ne couvriront-ils pas l'économie que l'on réalisera sur le combustible ? C'est une question que nous ne pouvons résoudre à priori, et qui est entièrement du domaine des ingénieurs constructeurs.

§ 3. — *Comparaison des machines à détente et chauffage de la vapeur avec les machines sans détente ni chauffage de la vapeur.*

Nous avons trouvé (Chapitre Ier, art. 3) les formules suivantes du travail à 4 atmosphères de pression initiale :

1° A détente :

$$(0.0055\ Q + 0.0066\ P)\ \frac{\pi R}{2r}\ v = 5.85\ n\ p.$$

2° Sans détente :

$$(0.0055\ Q + 0.0066\ P)\ \frac{\pi R}{2r}\ v = 3.58\ n\ p.$$

Nous avons trouvé en outre (Chapitre Ier, art. 2) que 1 kilog. de vapeur utile coûtait :

Avec chauffage de la vapeur, 780 unités de chaleur.
Sans chauffage de la vapeur, 840 *idem.*

Soit C la quantité de chaleur passant par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale, on aura :

Quantité de vapeur utile donnée par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale :

1° Sans chauffage de la vapeur $\frac{C}{840} = p$

2° Avec chauffage de la vapeur $\frac{C}{780} = p$

Appliquant ces formules aux divers cas envisagés dans les paragraphes précédents, nous aurons :

Travail produit par '' pour 500 kilog. de coke brûlé par heure, abstraction faite du travail nécessaire pour produire le tirage.

1° A détente et chauffage de la vapeur :

$$Tm = 5.85\, n \frac{C}{780} = 0.0075\, n\, C$$

Δ =	1m	1m.10	1m.20	1m.30	1m.40	1m.50
n =	46.60	61.10	77.62	97.20	119.80	146.50
C =	32000	28000	25000	22000	19000	16500

En kilogrammètres :

Tm =	11000	12800	14600	16100	17100	18200

En chevaux :

147 170 195 215 228 243

2° Sans détente ni chauffage de la vapeur :

$$Tm = 3.58\, n \frac{C}{840} = 0.00426\, n\, C$$

En kilogrammètres :

6200 7250 8250 9100 9700 10300

En chevaux :

84 97 111 122 130 138

§ 4. — *Poids des machines et charges remorquées.*

Nous avons trouvé (Chapitre 1er article 3), pour poids théorique des machines, l'expression suivante :

$$P = 386000 \frac{D^2\, r}{R}$$

h étant égal à 41 m. 28

Or, nous avons :

Pour	Δ =	1m.	1m.10	1m.20	1m.30	1m.40	1m.50
	D =	0.350	0.385	0.420	0.455	0.490	0.525
	r =	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30

= 1 m. 50, ne sera que 0.76 × 6000 = 4550 kilog. pour largeur de voie = 2 mètres. Suivant que le coke reviendra à 50, 75 ou 100 fr. les 1000 kilog., l'économie réalisée par une largeur de voie de 2 mètres sera de 72 fr. 50, 109 fr. ou 145 fr. par machine et par jour.

Les frais résultant de l'augmentation de largeur de la voie ne couvriront-ils pas l'économie que l'on réalisera sur le combustible ? C'est une question que nous ne pouvons résoudre à priori, et qui est entièrement du domaine des ingénieurs constructeurs.

§ 3. — *Comparaison des machines à détente et chauffage de la vapeur avec les machines sans détente ni chauffage de la vapeur.*

Nous avons trouvé (Chapitre Ier, art. 3) les formules suivantes du travail à 4 atmosphères de pression initiale :

1° A détente :

$$(0.0055\ Q + 0.0066\ P)\ \frac{\pi R}{2r}\ v = 5.85\ n\ p.$$

2° Sans détente :

$$(0.0055\ Q + 0.0066\ P)\ \frac{\pi R}{2r}\ v = 3.58\ n\ p.$$

Nous avons trouvé en outre (Chapitre Ier, art. 2) que 1 kilog. de vapeur utile coûtait :

Avec chauffage de la vapeur, 780 unités de chaleur.
Sans chauffage de la vapeur, 840 *idem*.

Soit C la quantité de chaleur passant par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale, on aura :

Quantité de vapeur utile donnée par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale :

1° Sans chauffage de la vapeur $\frac{C}{840} = p$

2° Avec chauffage de la vapeur $\frac{C}{780} = p$

Appliquant ces formules aux divers cas envisagés dans les paragraphes précédents, nous aurons :

Travail produit par '' pour 500 kilog. de coke brûlé par heure, abstraction faite du travail nécessaire pour produire le tirage.

1° A détente et chauffage de la vapeur :

$$Tm = 5.85\, n \frac{C}{780} = 0.0075\, n\, C$$

Δ =	1m	1m.10	1m.20	1m.30	1m.40	1m.50
n =	46.60	61.10	77.62	97.20	119.80	146.50
C =	32000	28000	25000	22000	19000	16500

En kilogrammètres :

Tm = 11000 12800 14600 16100 17100 18200

En chevaux :

147 170 195 215 228 243

2° Sans détente ni chauffage de la vapeur :

$$Tm = 3.58\, n \frac{C}{840} = 0.00426\, n\, C$$

En kilogrammètres :

6200 7250 8250 9100 9700 10300

En chevaux :

84 97 111 122 130 138

§ 4. — *Poids des machines et charges remorquées.*

Nous avons trouvé (Chapitre 1er article 3), pour poids théorique des machines, l'expression suivante :

$$P = 386000 \frac{D^2\, r}{R}$$

h étant égal à 41 m. 28

Or, nous avons :

Pour Δ =	1m.	1m.10	1m.20	1m.30	1m.40	1m.50
D =	0.350	0.385	0.420	0.455	0.490	0.525
r =	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30

$$R = \begin{cases} 1^o - 2.00 & 2.20 & 2.40 & 2.60 & 2.80 & 3.00 \\ 2^o - 1.60 & 1.76 & 1.92 & 2.08 & 2.24 & 2.40 \\ 3^o - 1.33 & 1.46 & 1.60 & 1.73 & 1.86 & 2.00 \end{cases}$$

nous en déduisons :

1° Pour grandes vitesses :

P = 4750k. 5720k. 6800k. 8000k. 9250k. 10700 k.

2° Pour vitesses moyennes :

P = 5900k. 7150k. 8500k. 10000k. 11600k. 13300k.

3° Pour petites vitesses :

P = 7150k. 8600k. 10200k. 12000k. 13900k. 16000 k.

Pratiquement, les poids des machines dépassent de beaucoup ces résultats théoriques, et bien qu'on ne puisse les déterminer exactement à priori, on ne sera pas loin de la vérité en posant, pour tous les cas :

P=12000 k. 15000 k. 18000 k. 21000 k. 24000 k. 27000 k.

Connaissant P, il nous suffira, pour avoir Q ou la charge remorquée, de résoudre, par rapport à cette inconnue, l'équation :

$$(0.0055\,Q + 0.0066\,P)\,\frac{\pi R}{2r}\,v = Tm$$

ce qui donnera :

$$Q = \frac{Tm \times 2r}{\pi R v \times 0.0055} - 1.21\,P = 116\,\frac{Tm\,r}{R\,v} - 1.21\,P$$

et : 1° Grande vitesse.

$$\frac{r}{R} = 0.2,\quad 0.2,\quad 0.2,\quad 0.2,\quad 0.2,\quad 0.2.$$

1° Détente et chauffage de la vapeur.

Tm = 11000 12800 14600 16100 17100 18200

$$v = 0.000245\,\frac{n\,p}{D^2}$$

n =	46.60	61.10	77.62	97.20	119.80	146.50
p =	41.00	36.00	32.00	28.25	24.50	21.20
D =	0.350	0.385	0.420	0.455	0.490	0.525
v =	$3^m.90$	$3^m.65$	$3^m.47$	$3^m.25$	$3^m.00$	$2^m.75$

Ce qui indique, en passant, que le cas le plus favorable pour appliquer la détente correspond à la largeur de voie = $2^m.10$, dans laquelle la vitesse des pistons est minima, quoique encore très-grande.

De là :

Q = 50900k. 63800k. 76200k. 89600k. 103000k. 120300k.

Vitesse sur la voie.

$$1^o \text{ Par }'' : \; v_1 = \frac{\pi R}{2r} v = \frac{3.1416 \times 5}{2} v = 7.85\, v$$

$30^m.60$, $28^m.65$, $27^m.30$, $25^m.50$, $23^m.60$, $21^m.60$

2° Par heure, en kilomètres :

110, 104, 98, 92, 85, 78.

Effet utile.

1° En kilogrammètres par '' :

$$0.005 \times Q \times v_1$$

7800, 9200, 10400, 11400, 12200, 13000

2° En chevaux :

$$\frac{0.005\, Q \times v_1}{75}$$

104, 123, 138, 152, 162, 173.

2° Sans détente ni chauffage de la vapeur :

T_n = 6200, 7250, 8250, 9100, 9700, 10300,

$$v = 0.000085 \frac{n\, p}{D^2}$$

v = $1^m.35$, $1^m.26$, $1^m.20$, $1^m.13$, $1^m.04$, $0^m.95$

De là :

Q = 92000 k. 114800 k. 138200 k. 161500 k. 187000 k. 225300 k.

Vitesse sur la voie.

1° Par '' : $v_1 = 7,85\ v$.

10m.60, 9m.80, 9m.40, 9m.10, 8m.15, 7m.45.

2° Par heure, en kilomètres :

38.2, 35.3, 34, 32.8, 29.4, 27.

Effet utile.

1° En kilogrammètres, par '' :

4900, 5600, 6500, 7350, 7650, 8400.

2° En chevaux. :

65, 75, 87, 98, 102, 112.

2° Vitesse moyenne.

$$\frac{r}{R} = 0.25,\ 0.25,\ 0.25,\ 0.25,\ 0.25,\ 0.25$$

1° Détente et chauffage de la vapeur.

T*m* = 11000, 12800, 14600, 16100, 17100, 18200.

v = 3m.90, 3m.65, 3m.47, 3m.25, 3m.00, 2m.75.

de là :

Q = 67500 k. 82800 k. 100200 k. 118500 k. 137000 k. 159300 k.

Vitesse sur la voie.

1° Par '' : $v_1 = \frac{\pi R}{2r} v = \frac{3.1416 \times 4}{2} v = 6,283\ v$.

24m.50, 23m.00, 21m.80, 20m.40, 18m.80, 17m.30.

2° Par heure, en kilomètres :

88, 83, 78.50, 73.50, 68, 62.30.

Effet utile.

1° En kilogrammètres par '' :

8300, 9900, 11000, 12100, 12900, 13800.

2° En chevaux :

111, 132, 146, 161, 172, 184.

2° Sans détente ni chauffage de la vapeur.

T_m = 6200, 7250, 8250, 9100, 9700, 10300.
v = 1m.35, 1m.26, 1m.20, 1m.13, 1m.04, 0m.95.

de là :

Q = 118500k. 148800k. 178200k. 209500k. 241000k. 282300k.

Vitesse sur la voie.

1° Par '' : $v_1 = 6.283\ v$.

8m.45, 7m.90, 7m.55, 7m.10, 6m.50, 5m.95.

2° Par heure, en kilomètres :

30.50, 28.50, 27.20, 25.60, 23.40, 21.50.

Effet utile.

1° En kilogrammètres par '' :

5000, 5900, 6750, 7400, 7800, 8400.

2° En chevaux :

66.5, 79, 90, 98, 104, 112.

3° Petite vitesse.

$\frac{r}{R}$ = 0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30, 0.30.

1° Détente et chauffage de la vapeur.

T_m = 11000, 12800, 14600, 16100, 17100, 18200.
v = 3.90, 3.65, 3.47, 3.25, 3.00, 2.75.

De là :

Q = 83500 k. 103800 k. 123200 k. 146500 k. 169000 k 197300 k.

Vitesse sur la voie.

$$1^o \text{ Par }'' : v_1 = \frac{\pi R}{2r} v = \frac{3.1416 \times 3.33}{2} v = 5.21 . v.$$

$20^m.40$, $19^m.10$, $18^m.20$, $17^m.00$, $15^m.70$, $14^m.40$.

2° Par heure, en kilomètres :

73, 68.5, 65.3, 61, 56.5, 51.7.

Effet utile.

1° En kilogrammètres par '' :

8500, 9950, 11400, 12500, 13300, 14200.

2° En chevaux :

114, 132, 152, 168, 178, 190.

2° Sans détente ni chauffage de la vapeur.

T_m = 6200, 7250, 8250, 9100, 9700, 10300.

v = $1^m.35$, $1^m.26$, $1^m.20$, $1^m.13$, $1^m.04$, $0^m.95$.

de là :

Q = 145500 k. 181800 k. 218200 k. 254500 k. 296000 k. 347300 k.

Vitesse sur la voie.

1° Par '' : $v_1 = 5.21\ v.$

$7^m.05$, $6^m.58$, $6^m.25$, $5^m.90$, $5^m.42$, $4^m.95$.

2° Par heure, en kilomètres :

25.4, 23.7, 22.6, 21.3, 19.6, 17.8.

Effet utile.

1° En kilogrammètres par '' :

5120, 6000, 6800, 7500, 8000, 8600.

2° En chevaux :

68.5, 80, 91, 100, 107, 115.

En examinant ces divers résultats, nous remarquons :

Art. 1. Que la vitesse des pistons, annoncée dans l'article précédent comme devant osciller entre 1m.80 et 2m.20, oscille, d'une part, pour les machines à détente, entre 2m.75 et 3m.90, et de l'autre, pour les machines sans détente, entre 0m.95 et 1m.35. Cela provient de ce que nous n'avons pas basé la détermination des diamètres des pistons sur la valeur de v, et l'avons assujettie à celle de Δ.

Si on veut avoir, pour tous les cas, la vitesse des pistons égale à 2 mètres, il suffit de poser :

1° Pour machines à détente :

$$2^{m.} = 0.000245 \frac{np}{D^2}$$

ce qui donnera :

D = 0m.484, 0m.520, 0m.550, 0m.580, 0m.595, 0m.610.

2° Pour machines sans détente :

$$2^{m.} = 0.000085 \frac{np}{D^2}$$

ce qui donnera :

D = 0m.285, 0m.305, 0m.325, 0m.34, 0m.35, 0m.36.

Mais alors il se présente un inconvénient pour les diamètres des pistons à détente ; ces derniers étaient censés avoir leur dimension maxima, il n'est donc pas possible de les augmenter. Pour remédier à cela, il suffit de : ou conserver toutes les dimensions primitivement déterminées et réduire la consommation en combustible, et, partant, le travail dépensé ; ou réduire la surface de chauffe, en brûlant toujours 500 k. coke par heure, ce qui est inadmissible, puisque cela occasionne une dépense de combustible en pure perte.

Art. 2. Que plus les vitesses sont grandes, plus l'effet utile est petit. Cela est la conséquence de l'équation :

$$((K + K')Q + P K'') v_1 = Tm.$$

Le produit v_1 P K'' augmente à mesure que v_1 augmente, Tm est constant, il faut donc que Q, qui est la seule variable, diminue.

Art. 3. Que, connaissant la vitesse des pistons et la pression moyenne opérée contre leur mouvement et employée à produire le tirage, nous pouvons déterminer exactement le travail dépensé dans chaque machine pour cette opération.

En effet, nous avons dit que, d'après MM. *Flachat* et *Pétiet*, la pression moyenne contraire au mouvement des pistons en sus de la pression atmosphérique, était, dans les locomotives actuelles, de 0m.28 de mercure; les vitesses sont :

1° A détente et chauffage de la vapeur.

3m.90, 3m.65, 3m.47, 3m.25, 3m.00, 2m.75.

2° Sans détente ni chauffage de la vapeur.

1m.35, 1m.26, 1m.20, 1m.13, 1m.04, 0m.95.

Les diamètres des pistons sont :

0m.350, 0m.385, 0m.420, 0m.455, 0m.490, 0m.525.

d'où il résulte :

Travail dépensé pour produire le tirage :

$$0.785\ D^2 \times 2 \times 0.28 \times 13590 \times v.$$

1° A détente.

1° En kilogrammètres par '' :

2860, 3250, 3680, 4030, 4300, 4550.

2° En chevaux :

38, 43, 49, 54, 57, 61 (1).

2° Sans détente.

1° En kilogrammètres par '' :

980, 1120, 1270, 1440, 1500, 1560.

2° En chevaux :

13, 15, 17, 19, 20, 21.

Afin de mieux saisir l'ensemble des résultats que nous avons obtenus ci-dessus, si nous les réunissons tous, nous formerons le tableau suivant :

(1) En admettant, ce qui n'est pas prouvé, que la pression contraire est la même avec détente que sans détente.

TABLEAU des locomotives pour une consommation constante de 300 kilog. de coke par heure et pour diverses largeurs de voie.

DÉSIGNATION DES OBJETS.	LARGEURS DE LA VOIE :					
	m. 1.40	m. 1.54	m. 1.68	m. 1.82	m. 1.96	m. 2.10
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Diamètre de la chaudière cylindrique. . .	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
Rayon de l'essieu coudé.	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30
Diamètre des roues motrices 1o. . . .	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
—— 2o. . . .	1.60	1.76	1.92	2.08	2.24	2.40
—— 3o. . . .	1.33	1.46	1.60	1.73	1.86	2.00
Longueur des bielles.	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
Longueur des entretoises et de la chaudière cylindrique.	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
Longueur des guides.	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90
Diamètre des cylindres à vapeur. . . .	0.350	0.385	0.420	0.455	0.490	0.525
Lumières des tiroirs :						
Longueur..	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30
Largeur.	0.040	0.044	0.048	0.052	0.056	0.060
Diamètre du tuyau d'arrivée de la vapeur :						
pour 2 cylindres.	0.150	0.165	0.180	0.195	0.210	0.225
pour 1 cylindre.	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15

DÉSIGNATION DES OBJETS.	LARGEURS DE LA VOIE :					
	m. 1.40	m. 1.54	m. 1.68	m. 1.82	m. 1.96	m. 2.10
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Largeur de la grille et de la caisse à feu. .	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
Longueur de la grille et de la caisse à feu.	1.00	0.91	0.83	0.77	0.72	0.66
Hauteur de la caisse à feu.	1.15	1.27	1.38	1.50	1.61	1.72
Nombre des tubes.	156	190	228	264	305	350
Diamètre de la cheminée.	0.350	0.375	0.420	0.455	0.490	0.525
Diamètre des soupapes de sûreté. . . .	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
Diamètre des pistons des pompes alimentaires.	0.030	0.033	0.036	0.039	0.042	0.045
	m. q.	m. q.	m. q.	m. q.	m. q.	m. q.
Surface de chauffe directe.	5.60	6.10	6.62	7.20	7.80	8.50
Surface de chauffe par contact.	41.00	55.00	71.00	90.00	112.00	138.00
Rapport entre les surfaces de chauffe. . .	7.3	9.0	10.7	12.5	14.3	16.2
Surface de chauffe totale.	46.60	61.10	77.62	97.20	119.80	146.50
Quantité de coke brulée par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale.	10k.75	8k.15	6k.40	5k.12	4k.17	3k.40
	Unités de chaleur.					
Quantité de chaleur passant par heure et par mètre quarré de surface de chauffe totale.	32000	28000	25000	22000	19000	16500
Quantité de chaleur utilisée par kilog. de coke brulé..	2960	3420	3550	3950	4250	4550
Température de la fumée sortant des tubes.	630°	575°	530°	480°	430°	395°

Dépenses relatives pour une même production de vapeur..	0.760	1.000	0.965	0.870	0.805	0.0760
Travail produit par'' :	Kilogrammètres.					
1° Détente et chauffage de la vapeur.	11000	12800	14600	16100	17100	18200
2° Sans détente ni chauffage de la vapeur.	6200	7250	8250	9100	9700	10300
Force en chevaux :						
1° A détente et chauffage.	147	170	195	215	228	243
2° Sans détente ni chauffage.	84	97	111	122	130	138
Poids des machines.	12000k.	15000k.	18000k.	21000k.	24000k.	27000k.
Charge remorquée.						
1° Grande vitesse :						
Détente et chauffage.	50900	63800	76200	89600	105000	120300
Sans détente ni chauffage..	92000	114800	138200	161500	187000	225300
2° Vitesse moyenne :						
Détente et chauffage..	67500	82800	100200	118500	137000	159300
Sans détente ni chauffage.	118500	148800	178200	209500	241300	282300
3° Petite vitesse :						
Détente et chauffage.	83500	103800	125200	146500	169000	197300
Sans détente ni chauffage..	145500	181800	218200	254500	296000	347300

DÉSIGNATION DES OBJETS.	LARGEURS DE LA VOIE :					
	m. 1.40	m. 1.54	m. 1.68	m. 1.82	m. 1.96	m. 2.10
Vitesse des pistons :	m.	m.	m.	m.	m.	m.
A détente et chauffage.	3.90	3.65	3.47	3.25	3.00	2.75
Sans détente ni chauffage.	1.35	1.26	1.20	1.13	1.04	0.95
Vitesses sur la voie :						
Détente et chauffage. 1°. . . .	30.60	28.65	27.30	25.50	23.60	21.60
— 2°. . . .	24.50	23.00	21.80	20.40	18.80	17.30
— 3°. . . .	20.40	19.10	18.20	17.00	15.70	14.40
Sans détente ni chauffage. 1°. . . .	10.60	9.80	9.40	9.10	8.15	7.45
— 2°. . . .	8.45	7.90	7.55	7.10	6.50	5.95
— 3°. . . .	7.05	6.58	6.25	5.90	5.42	4.95
Vitesse en kilomètres par heure :						
Détente et chauffage. 1°. . . .	110	104	98	92	85	78
— 2°. . . .	88	83	78.5	73.5	68	62.3
— 3°. . . .	73	68.5	65.3	61	56.5	51.7
Sans détente ni chauffage. 1°. . . .	38.20	35.30	34	32.80	29.40	27
— 2°. . . .	30.50	28.50	27.20	25.60	23.40	21.50
— 3°. . . .	25.40	23.70	22.60	21.30	19.60	17.80

Effet utile.						
En kilogrammètres par″ :						
1° Grande vitesse :						
Détente et chauffage..	7800	9200	10400	11400	12200	13000
Sans détente ni chauffage.	4900	5600	6500	7350	7650	8400
2° Vitesse moyenne :						
Détente et chauffage.	8300	9900	11000	12100	12900	13800
Sans détente ni chauffage.	5000	5900	6750	7400	7800	8400
3° Petite vitesse :						
Détente et chauffage.	8500	9950	11400	12500	13300	14200
Sans détente ni chauffage.	5120	6000	6800	7500	8000	8600
En chevaux :						
1° Grande vitesse :						
Détente et chauffage.	104	123	138	152	162	175
Sans détente ni chauffage.	65	75	87	98	102	112
2° Vitesse moyenne :						
Détente et chauffage.	111	132	146	161	172	184
Sans détente ni chauffage.	66.5	79	90	98	104	112
3° Petite vitesse :						
Détente et chauffage.	114	132	152	168	178	190
Sans détente ni chauffage.	68.5	80	91	100	107	115

TROISIÈME PARTIE.

CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES.

La construction des locomotives comprend :

1° L'étude des matériaux employés de préférence dans la confection de ces moteurs ;

2° L'examen des divers modes de traitement employés dans les arts, pour convertir ces matériaux en pièces de machines ;

3° L'organisation de l'atelier de construction ;

4° La composition des locomotives,

Quatre connaissances-pratiques que nous allons passer en revue successivement.

CHAPITRE PREMIER.

ÉTUDE DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS DE PRÉFÉRENCE POUR LA CONFECTION DES PIÈCES DES LOCOMOTIVES.

ART. 1er. *Propriétés physiques et économiques des matériaux propres à la confection des machines.*

Toute pièce faisant partie d'une locomotive doit jouir à la fois des quatre propriétés générales suivantes :

1° Légèreté ;

2° Tenacité ;

3° Exécution facile ;

4° Prix de revient minimum ;

Et pour quelques-unes d'entre elles, de la propriété spéciale : conductibilité maxima de la chaleur.

Les matériaux employés dans les arts pour la confection des objets usuels peuvent se classer en six groupes principaux qui sont : les *pierres*, les *poteries*, les *verres*, les *métaux*, les *bois*, les *cuirs*, les *matières textiles*. Or, pour une résistance déterminée, les pierres sont lourdes et cassantes, les

poteries sont cassantes, les verres sont cassants; les métaux sont légers et tenaces; les bois sont légers, mais faibles; les cuirs et les matières textiles sont incapables d'affecter une forme solide, et, par cela même, hors de comparaison.

Les métaux et les bois sont les seuls matériaux entre lesquels on peut balancer pour leur emploi dans la confection des machines; et comme ces derniers ne remplissent qu'imparfaitement les conditions de la tenacité, ils cèdent la place aux métaux, qui sont employés exclusivement.

Parmi les quarante métaux connus, peu jouissent à la fois des propriétés énoncées en troisième et quatrième lieu comme conditions indispensables, et qui sont :

Exécution facile,

Prix de revient minimum.

Mais tous jouissent de la propriété spéciale : conductibilité de la chaleur, seulement à des degrés variables.

Les métaux qui peuvent se travailler et affecter les diverses formes qu'on désire leur donner, tant purs que combinés ou alliés, présentent en outre l'avantage d'être répandus dans la nature en quantités notables, et sont : l'*or*, le *platine*, l'*argent*, le *nickel*, le *cuivre*, l'*étain*, le *fer*, le *plomb*, le *zinc*.

L'or, le platine et l'argent sont trop chers pour entrer, en si petite partie que ce soit, dans la confection des machines.

Le nickel est trop rare et trop cher pour y être employé seul, mais peut y figurer en alliage avec le cuivre.

Le cuivre, l'étain, le fer, le plomb et le zinc sont les métaux que l'on emploie exclusivement, soit à l'état pur, soit à l'état de combinaison ou alliage.

Les propriétés physiques et économiques, déterminées ci-dessus comme indispensables, n'existent pas au même degré dans ces derniers métaux, et si nous les classons par ordre de supériorité dans chacune de ces propriétés, nous obtenons :

1° *Pour la légèreté :*

	Densité.
Zinc.	7.000
Etain.	7.200
Fer.	7.800
Cuivre.	8.895
Plomb.	11.352

2° *Pour la tenacité :*

	Résistance à la traction par centimètre quarré de section au moment de la rupture.
Fer.	4,384 kilog.
Cuivre.	2,100
Zinc.	860
Étain.	332
Plomb.	130

3° *Pour l'exécution facile :*

Ductilité.	Malléabilité.
1° Fer.	1° Cuivre.
2° Cuivre.	2° Étain.
3° Zinc.	3° Plomb.
4° Étain.	4° Zinc.
5° Plomb.	5° Fer.

Résistance à la lime.

1° Fer.	4° Etain.
2° Zinc.	5° Plomb.
3° Cuivre.	

4° *Pour le prix de revient minimum :*

	Valeur du kil. brut.
Zinc.	0f.30
Fer.	0.50
Plomb.	0.60
Etain.	1.50
Cuivre.	3.00

5° *Pour la conductibilité de la chaleur :*

Cuivre.	1.000
Fer.	0.416
Zinc.	0.405
Etain.	0.337
Plomb.	0.200

En résumant ces diverses propriétés, on arrive aux résultats suivants :

1° Les pièces exécutées sont d'autant plus légères que

leur tenacité est plus grande, en tant qu'elles ne doivent résister qu'à la traction ; si donc on veut avoir les poids relatifs des pièces exécutées avec chacun de ces métaux, on pose les équations suivantes :

V, V', volumes d'une pièce exécutée avec deux métaux différents.

P, P', poids de ces volumes.
t, t', tenacités.
d, d', densités.

1° $$V \times t = V' \times t' ;$$

d'où : $$V' = V \frac{t}{t'} ;$$

2° $$P = V \times d, \quad P' = V' \times d',$$

donc $$\frac{P'}{d'} = \frac{P}{d} \frac{t}{t'}, \text{ et } P' = P \frac{d'}{d} \frac{t}{t'}$$

Adoptant que le poids de la pièce exécutée en fer = 1, nous avons, pour la légèreté des pièces, les nombres proportionnels suivants :

		Poids.
1° Fer.		= 1.00
2° Cuivre	$\frac{8.895 \times 4384}{7.8 \times 2100}$	= 2.38.
3° Zinc	$\frac{7 \times 4384}{7.8 \times 860}$	= 4.60.
4° Étain	$\frac{7.2 \times 4384}{7.8 \times 332}$	= 12.20.
5° Plomb	$\frac{11.352 \times 4384}{7.8 \times 130}$	= 49.

2° En supposant que les frais d'exécution sont égaux, parce qu'on emploie chaque métal seulement là ou la forme

que l'on désire est celle qu'il affecte le plus facilement, le prix de revient des pièces exécutées est :

1° En fer.	matière première	0f. 50
2° En zinc.	*Id.*	1. 38
3° En cuivre. . . .	*Id.*	7. 14
4° En étain. . . .	*Id.*	18. 25
5° En plomb. . . .	*Id.*	29. 40

Plus la main d'œuvre.

3° Pour la conductibilité de la chaleur, les surfaces nécessaires étant en raison inverse des facultés conductrices, on aura, en appelant S et S' deux surfaces, et C, C' les facultés conductrices par mètre quarré :

$$S' = S \frac{C}{C'}$$

Soit S pour le cuivre = 1, les surfaces relatives des autres métaux étant obtenues par l'équation ci-dessus, on a les poids correspondants en multipliant ces dernières par les poids nécessaires à une même tenacité, ce qui revient à diviser les nombres représentant les poids relatifs, pour une même résistance, par les facultés conductrices relatives, et donne :

Poids de métal nécessaire pour laisser passer une égale quantité de chaleur dans le même temps, avec une résistance à la traction égale :

Cuivre.	2.38	ou	1.00
Fer.	2.40		1.01
Zinc.	11.35		4.75
Etain.	36.85		15.20
Plomb.	245.00		103.00

Les prix de revient relatifs s'obtiennent en multipliant ces poids par les valeurs de 1 kil. du métal considéré, ce qui donne :

Fer.	0.500 f.	ou	1.00
Zinc.	1.440		2.85
Cuivre.	3.000		6.00
Etain.	22.800		45.50
Plomb.	62.000		124.00

Ainsi, à poids différents, pour des tenacités égales, des facilités d'exécution égales et des conductibilités égales, les

métaux, classés par ordre de légèreté, sont : 1° le fer; 2° le cuivre; 3° le zinc; 4° l'étain; 5° le plomb.

Et classés par ordre de prix de revient minimum, sont : 1° le fer; 2° le zinc; 3° le cuivre; 4° l'étain; 5° le plomb. Les valeurs énormes de l'étain et du plomb, par rapport aux autres, les mettent hors de concours quant à leur emploi à l'état pur pour pièces de machines.

Le fer, tenant le premier rang dans les deux cas, est le métal par excellence pour la construction des machines, si l'on n'a égard qu'à ses propriétés physiques.

Nous allons maintenant envisager les trois métaux : *fer, cuivre* et *zinc*, sous le point de vue chimique, pour en déduire les cas où le *cuivre* et le *zinc* doivent être préférés au *fer*.

Art. 2. *Propriétés chimiques des métaux employés de préférence dans la construction des machines.*

§ 1er. FER.

Pur, le fer est un métal d'une couleur gris bleuâtre, d'une texture grenue, présentant dans sa cassure des pointes crochues, dilatable par la chaleur dans le rapport de 1 à 1,001258 en passant de 0° à 100°; fusible à un degré de chaleur si élevé, qu'on le considère dans les arts comme infusible; d'une capacité calorifique égale à 0,11 en moyenne, c'est-à-dire, n'exigeant que les 0,11 de la quantité de chaleur nécessaire à un même poids d'eau pour être élevé à une même température; électro-positif avec les métaux *antimoine*, *or*, *platine*, *argent*; électro-négatif avec les métaux *plomb*, *étain* et *zinc*; décomposant l'eau subitement à la température rouge, et lentement à la température ordinaire au contact de l'air, pour se recouvrir d'une couche rouge appelée rouille, et qui est du peroxide de fer, combinaison dans laquelle le fer joue le rôle d'électro-positif, et l'oxigène celui d'électro-négatif : d'où il suit que, si on a la précaution de mettre le fer en contact avec l'un des métaux *zinc*, *plomb* ou *étain*, il ne s'oxide pas à l'humidité, étant du même pôle que l'oxigène, principe sur lequel sont fondés le zinguage et les peintures dites galvanisées.

Le fer jouit de la propriété d'attirer le barreau aimanté, et de pouvoir s'aimanter lui-même.

Les agents destructeurs auxquels le fer est exposé dans les machines, sont les suivants :

1° L'humidité de l'air, qui le convertit en peroxide de fer.

2° Le soufre contenu dans la houille, employée pour le chauffage des chaudières, à l'état de bisulfure de fer ; ce soufre, en se volatilisant, attaque les parois des chaudières et les convertit petit à petit en sulfure de fer fusible, et par conséquent incapable de résister à la pression intérieure.

3° L'air pur à une température rouge ; cela a lieu quand les chaudières contiennent des dépôts qui empêchent la chaleur de traverser l'enveloppe métallique.

4° Les eaux salines et acidulées qui, se décomposant pour oxider le fer, le convertissent en sels par la combinaison de cet oxide avec les acides qu'elles tiennent en dissolution.

Le fer du commerce n'est jamais pur ; il contient toujours au moins 0,002 carbone, 0,002 phosphore, 0,002 soufre. Suivant que ces matières lui sont combinées en plus ou moins grande proportion, il est plus ou moins cassant.

Quelque pur que soit le fer, on remarque que les vibrations ou la température prolongée le rendent cassant. L'effet des vibrations se manifeste très-souvent dans les jantes des roues de voiture, et on peut s'en convaincre en particulier en plaçant un clou reconnu de fer très-doux dans un endroit souvent agité, comme la fenêtre d'un rez-de-chaussée d'une rue fréquentée par les voitures.

Pour la température, on a fait l'expérience avec des fers de Suède de première qualité ; on a pris six échantillons que l'on a divisés en deux morceaux chacun ; on a placé un des morceaux de chaque dans un four, et on les a laissés pendant plusieurs heures à la température rouge. Retirés et battus sur l'enclume, ces fers cassaient comme les plus mauvais échantillons, tandis que les morceaux conservés froids étaient très-malléables. Réchauffés et laminés, ces fers sont redevenus bons.

On explique l'effet des vibrations et celui de la température par le déplacement des molécules.

Le fer, n'étant pas fusible, se forge à chaud et à froid ; à chaud, il est mou comme du plomb, et affecte très-facilement les diverses formes qu'on veut lui donner ; à froid, il prend un écrouissement qu'on lui fait perdre, si l'on veut, en le chauffant.

On distingue différentes qualités de fer dans le commerce :

Le fer manganésié, ductile à froid, cassant à chaud ;

Le fer phosphoreux, cassant à froid, ductile à chaud ;

Le fer sulfuré, cassant à froid, cassant à chaud.

Le fer manganésié est principalement recherché pour les tôles minces, parce que ces dernières se laminent presque à froid.

Le fer phosphoreux est recherché dans la fabrication des objets de quincaillerie, parce qu'il coûte peu, se travaille bien à chaud, et sert à la confection de pièces qui ne sont appelées à résister qu'à de faibles efforts. Néanmoins, il serait à désirer qu'on pût séparer le phosphore du fer, car les produits que cette industrie livre aujourd'hui au commerce sont d'une infériorité déplorable.

Les fers sulfurés sont la plaie de l'industrie des forges et la mort des usines qui les produisent, car ils ne sont bons à rien.

Pour séparer le manganèse, le phosphore et le soufre du fer, on emploie les méthodes suivantes, qui amènent depuis quelque temps des résultats assez avantageux.

Pour le manganèse, il suffit de ménager le dosage en chaux dans la castine que l'on mélange au minerai de fer dans les hauts-fourneaux. Dans ce cas, le manganèse passe à l'état d'oxide dans les laitiers.

Pour le soufre et le phosphore, on jette dans le four à *puddler*, à la forge anglaise, un mélange de sel marin et de peroxide de manganèse, au moment où la fonte est en pleine fusion. La température a bientôt fondu ce mélange, qui, en contact avec les laitiers de la fonte, enrichis d'une petite quantité de silice, est converti en silicates, et laisse dégager du chlore qui, rencontrant le soufre ou le phosphore, les entraîne avec lui par la volatilisation à l'état de chlorure de soufre ou de phosphore.

Quel rôle joue ici le peroxide de manganèse? Suivant les inventeurs de ce procédé, il se réduit à l'état métallique, en cédant son oxigène au chlorure de sodium, qui de son côté abandonne son chlore au soufre et au phosphore du fer pour se convertir en silicate de soude. Mais le manganèse, réduit à l'état métallique, bien que très-oxidable, ne trouvant pas d'air pour se réoxider, puisqu'il est disséminé dans un bain de silicate de soude, se porte naturellement sur le fer qu'il rencontre, et forme ainsi du fer manganésié. Il résulte de là que, si on essaie les fers traités par ce procédé, on trouve qu'à chaud ils sont restés cassants, si c'était le soufre qui les souillait avant, et qu'à froid ils sont très-ductiles. Le chlore a-t-il opéré? c'est ce

que l'analyse seule peut déterminer. Quant au résultat, on peut dire que les fers traités par cette méthode deviennent des fers analogues pour les propriétés aux fers manganésiés, ce qui est déjà un avantage; car de mauvais qu'ils étaient auparavant, ils sont devenus bons à faire de la tôle.

Comme la quantité des laitiers répandus dans le four est beaucoup plus considérable et plus susceptible, à cause de la soude qu'elle contient, d'attaquer les parois en briques que les laitiers ordinaires, on est obligé, pour faire usage de ce procédé, d'employer les fours dits *bouillants*, fours différant des fours à puddler ordinaires par leurs parois qui sont en fonte, et derrière lesquelles a lieu sans cesse un courant d'air, dont le but est de les empêcher de s'échauffer assez pour entrer en fusion.

Pour reconnaître si un fer est bon, on examine sa cassure. Le nerf, dans la cassure, est l'indice d'un bon fer; les facettes plus ou moins grosses et la cassure lamelleuse sont l'indice d'un mauvais fer.

Il ne faut employer dans la construction des machines que du bon fer, et cela dans l'intérêt de la construction même, parce que le prix de revient d'une pièce finie est considérable par rapport à sa valeur brute : or, ce qui arrive le plus généralement, c'est que les mauvaises pièces ne cassent que quand elles sont terminées, soit au montage, soit à la mise en train. Comme, dans ces deux cas, le constructeur est responsable, ce qu'il a de mieux à faire, pour éviter les pertes résultant de la double fabrication des pièces, c'est de n'avoir que du bon fer.

Les meilleurs fers sont ceux fabriqués au bois avec des fontes au bois ou directement, et martelés, par les méthodes dites *allemande* et *catalane*.

Après ces fers, viennent ceux fabriqués à la houille avec des fontes au bois, et martelés, par la méthode dite *champenoise*.

La troisième qualité se compose des fers fabriqués à la houille avec des fontes au bois, et laminés, par la méthode dite *anglaise*.

La quatrième et dernière qualité se compose des fers fabriqués à la houille avec des fontes au coke, et laminés, par la méthode *anglaise*.

La méthode catalane est exclusivement employée dans la *Corse* et les *Pyrénées*, où les minerais sont très-riches et les bois abondants.

La méthode allemande est employée dans la *Comté*, l'*Isère*, le *Nivernais* et le *Berri*, où les bois sont assez abondants.

La méthode champenoise est employée dans la *Champagne*, les *Vosges* et la *Bourgogne*, où la houille revient à meilleur marché que le bois.

La méthode anglaise est employée dans plusieurs localités disséminées, dont les principales sont, pour fontes au bois, traitées à la houille : *Fourchambault*, *Abainville*, *Châtillon-sur-Seine*, *Hayange*, *Bologne*.

Pour les fontes au coke, traitées à la houille : le *Creusot*, de *Cazeville*, *Alais*.

Les fers de *Comté* sont considérés comme les meilleurs dans le commerce, et sont employés, pour ce motif, en petits fers ronds pour fils de fer, tôle à fer-blanc, feuillards et autres échantillons qui exigent de la qualité.

Les fers de *Berri* viennent ensuite, et servent principalement à la fabrication des clous d'épingles; ils s'emploient en remplacement des fers de *Comté*, dans tous les cas où on ne peut se procurer ces derniers.

Les fers de *Champagne* se divisent en fers de *roche* et fers *demi-roche*. Ils servent à faire les objets de serrurerie délicate, les machines, les bandages de roues et la carrosserie en général.

Les fers des *Vosges* sont des fers de roche, très-doux à froid, mais peu soudants.

Les fers de *Bourgogne* viennent ensuite.

Les fers des *Ardennes* s'emploient exclusivement à l'état de tôles; un de leurs principaux produits sont les socs de charrue.

Les fers fabriqués par la méthode anglaise sont les derniers; ceux fabriqués avec les fontes au bois passent avant ceux fabriqués avec les fontes au coke; mais grâce aux perfectionnements que subit tous les jours le traitement des minerais au coke, et celui des fontes à la houille, la différence entre ces qualités est peu sensible, et tend, en général, à se rapprocher des fers de bonne qualité. Nous citerons, à cette occasion, l'usine du *Creusot*, dont les produits se sont améliorés depuis trois ans d'une manière très-remarquable.

Le fer forme, avec le carbone, diverses combinaisons dont l'emploi, dans les machines, est de la plus haute importance. Ces combinaisons, dont l'une vient d'être men-

tionnée, sont l'*acier* et la *fonte*. Les caractères de ces deux combinaisons sont assez tranchés pour que nous croyions devoir les étudier séparément.

1o *Acier*.

Pur, l'acier contient en moyenne 99 p. 100 fer, et 1 p. 100 carbone. Les proportions de ces deux éléments n'étant pas rigoureuses, on ignore si c'est une combinaison ou simplement un mélange.

L'acier est plus dur que le fer, même quand, après avoir été chauffé, il est refroidi lentement; mais si, chauffé au rouge, on le plonge dans l'eau subitement, il acquiert une dureté extraordinaire; dans ce cas, il est plus cassant et d'une densité moindre qu'auparavant. Cette opération porte un nom dans les arts; c'est la *trempe* de l'acier.

L'acier est blanc grisâtre, à cassure compacte et unie, doué de l'éclat métallique, mais à un degré moindre que le fer: sa texture est grenue, à grain fin, égal et serré; sa densité moyenne est 7. 8.

Dans les arts, on n'obtient pas toujours l'acier pur; aussi distingue-t-on dans le commerce diverses qualités d'aciers dont les propriétés varient suivant la nature et la quantité des impuretés qu'ils renferment. Les impuretés qui souillent l'acier sont, la *silice*, les *verres siliceux*, *l'oxide* de *fer*, les *métaux*, le *soufre*, le *phosphore* et les *phosphates*, toutes matières qui se rencontrent dans le fer qui sert à le préparer.

On distingue, dans le commerce, les diverses qualités suivantes d'aciers, classées par ordre de dureté :

1o Acier de cémentation ;

2o Acier naturel, de forge, de fusion, de terre ou d'Allemagne ;

3o Acier sauvage;

4o Acier fondu ;

5o Acier Wootz.

1o *Acier de cémentation*.

L'acier de cémentation se prépare par la cémentation du fer en barres déposé dans des caisses en poteries en contact avec de la craie et du carbone à une température rouge. La réaction qui s'opère est la suivante : l'acide carbonique, qui se dégage de la craie, rencontrant le carbone, lui cède la moitié de son oxigène, et se convertit, ainsi que ce dernier,

en oxide de carbone; l'oxide de carbone, rencontrant le fer, lui abandonne la moitié de son carbone, et redevient acide carbonique qui, rencontrant du charbon, lui cède encore moitié de son oxigène, et ainsi de suite.

Plus le fer est pur, plus cet acier est doux ; si le fer est manganésié, l'acier qui en résulte est solide et élastique, et, par conséquent, très-propre à faire des ressorts et des tranchants. On fait subir généralement à l'acier une seconde cémentation qui a pour but de le rendre plus homogène, susceptible d'un plus beau poli, et capable de se souder à lui-même. L'acier de seconde cémentation se nomme *acier à l'éperon*, dont il portait autrefois l'empreinte.

La trempe de l'acier de cémentation s'effectue de deux manières :

La première consiste à le chauffer à une chaleur rouge dans un foyer de forge, et à le tremper ensuite dans l'eau. Ce procédé a l'inconvénient de diminuer la dureté de l'acier, en lui enlevant une partie du carbone qu'il contient et en augmentant la dose d'oxide de fer. La seconde, appelée *trempe en paquet*, consiste à entourer l'acier d'un cément en charbon ou suie, dans un cylindre en tôle, pour le faire passer au feu; par ce moyen, sa surface reste la même qu'auparavant, et on trempe chaque pièce l'une après l'autre, sans que la composition de l'acier ait été changée.

L'acier de cémentation est réservé à la fabrication des limes et des outils. Soudé au fer, il sert à armer des marteaux, des ciseaux et des enclumes. Sa composition moyenne est la suivante :

Carbone.	0.75
Silicium.	0.15
Manganèse, soufre ou phosphore.	0.40
Fer.	98.70
	100.00

2° *Acier naturel.*

C'est une combinaison de fer, carbone et verre siliceux provenant des scories des hauts-fourneaux dans lesquels il se prépare. Cet acier est plus dur que le précédent, mais les éléments y sont imparfaitement mélangés. Il peut s'obtenir, soit dans le traitement des minerais de fer, dans les fourneaux catalans, soit dans l'affinage de la fonte obtenue au bois ou au coke.

Par la première méthode, l'acier est beaucoup moins pur que par la seconde; il contient du fer intercalé, provenant de la réduction trop prompte du minerai à l'état métallique.

L'affinage change la texture et la couleur du grain de cet acier; la trempe le rend moins cassant; il se forge et se soude bien, et comme son prix est inférieur à celui de tous les autres, il est le plus répandu dans le commerce. Sa composition est la même que celle de l'acier de cémentation; les silicates seulement y dominent un peu plus.

3° *Acier sauvage.*

C'est une variété de l'acier naturel qui se prépare presque exclusivement pour les filières; il est excessivement dur, non soudable, immalléable.

4° *Acier fondu.*

L'acier fondu est une combinaison de fer, carbone et verre siliceux dans une proportion supérieure à celle de l'acier naturel. Lorsque les principes composants sont bien dosés, le mélange peut fondre. Cet acier est le plus propre aux usages homogènes; il est dur et difficile à forger, ne se soudant que très-difficilement au fer. On en fait des tranchants très-solides, sans qu'il soit nécessaire de le tremper très-chaud.

On peut l'obtenir en fondant ensemble du fer pur, du verre et du carbonate de chaux dans un creuset *brasqué* ou garni intérieurement avec du charbon. L'action du carbonate de chaux est la même que pour l'acier de cémentation; seulement ici la chaux restante fond et se mélange dans les silicates.

On emploie l'acier fondu à faire des burins, des filières, des laminoirs d'orfèvres et des instruments fins et tranchants.

5° *Acier Wootz.*

C'est une combinaison de fer, carbone et silice qui se prépare seulement à *Bombay*, dans les *Indes*. Cet acier est fusible et doué d'une dureté extrême; c'est la silice qui lui donne ces deux propriétés. La forge le détériore moins que les autres; on l'emploie à cause de cela, en mélange avec le fer, sous le nom d'*étoffe*, à faire des *damas* et des lames de *sabres*. L'étoffe est un mélange de lames minces de fer et d'acier intercalées, soudées ensemble dans cet état, et forgées ensuite. Dans ce mélange l'acier fournit la dureté et le fer la tenacité.

2o *Fonte.*

La fonte diffère de l'acier en ce qu'elle renferme toujours au moins 2 p. 100 de carbone.

Les proportions de ce dernier élément dans la fonte influent beaucoup sur ses propriétés : plus il y est abondant, plus la fonte est douce au travail du burin et de la lime, et plus sa cassure est foncée en couleur. La densité des fontes est variable : la fonte employée généralement dans les machines, celle qui contient le plus de carbone, 5 à 6 p. 100, a pour densité 7. 2.

Les matières étrangères qui se trouvent le plus souvent combinées à la fonte, sont :

Le silicium.	1.5	p. 1000 fonte.
L'aluminium.	3.	*id.*
Le manganèse.	1.	*id.*
Le phosphore.	2.	*id.*
Le soufre.	2.	*id.*

Ces matières peuvent y exister toutes ensemble, ou quelques-unes seulement à la fois. Suivant la nature et la quantité de celles qui s'y trouvent, la qualité des fontes est variable.

Le silicium et l'aluminium y sont apportés à l'état de silicate d'alumine par les laitiers des hauts-fourneaux avec lesquels les fontes sont en contact. Ces matières donnent de la fusibilité à la fonte, mais tendent à la rendre aigre.

Le manganèse, apporté par le minerai, fait cristalliser les fontes en gros cristaux tétraédriques, mais il ne peut y exister qu'autant que la silice ne domine pas. Sa présence, du reste, n'est utile que pour la forge.

Le soufre et le phosphore n'influent pas autant sur la qualité des fontes que sur celle des fers. Leur effet est analogue à celui des laitiers.

La fonte n'est pas aussi oxidable à l'air que le fer ; elle ne craint pas, autant que lui, les agents destructeurs avec lesquels les métaux sont en contact dans les machines ; les eaux acidulées ou marines seules forcent à lui substituer le cuivre, soit à l'état de tôle, soit à l'état de laiton ou bronze, en combinaison avec le zinc ou l'étain.

On divise les fontes en fontes *blanches* et fontes *grises*.

Les fontes *blanches* sont celles qui contiennent le moins de

carbone. Elles sont cassantes et dures à travailler ; aussi sont-elles exclusivement employées à la fabrication du fer.

Les fontes *grises* ou fontes de moulage se divisent en fontes *aigres* et fontes *douces*. Ce sont les fontes douces que l'on emploie de préférence pour la construction des machines : leur degré de fusion est un peu plus élevé que celui des fontes blanches ; leur cassure est grenue ; elles sont faiblement ductiles et élastiques ; elles se travaillent facilement au burin et à la lime ; on peut les fondre plusieurs fois sans leur faire perdre leurs propriétés, pourvu qu'on ait la précaution de les maintenir à l'abri de l'air et de les laisser refroidir lentement. La fonte grise, refroidie subitement après la coulée, devient blanche. Cette propriété qui, dans certains cas, est un grave inconvénient, dans d'autres rend d'éminents services ; ainsi, c'est dans le but de l'utiliser que l'on fait les moulages dits en *coquilles*, moulages dans lesquels le sable des moules est remplacé par une enveloppe en fonte froide qui blanchit celle que l'on verse dedans, et cela à une profondeur d'autant plus grande que l'épaisseur de cette enveloppe est elle-même plus considérable. Remise au four, coulée et refroidie lentement, la fonte grise, qui a été blanchie par refroidissement subit, redevient grise. On a remarqué qu'en coulant la fonte à découvert, plus sa surface supérieure est bombée, plus sa qualité est bonne.

Les qualités des fontes ne suivent pas les mêmes règles que les fers, relativement à leurs traitements ; ainsi, les fontes de *Comté*, qui produisent généralement d'excellent fer, ne sont pas toujours bonnes pour moulage ; elles sont quelquefois souffleuses : on est obligé, pour les employer, de les mélanger à d'autres fontes. En général, les fontes de moulage valent toujours mieux mélangées qu'en nature ; les fontes du Berri mélangées avec des fontes au coke donnent de très-beaux moulages.

La valeur du kilogramme de fonte de moulage brut, en gueuses, est de 0 fr. 22.

§ 2. CUIVRE.

Pur, le cuivre est un métal d'un rouge éclatant qui lui est particulier, exhalant, quand on le frotte, une odeur désagréable ; il se dilate par la chaleur, dans le rapport de 1 à 1.000171, en passant de 0° à 100° ; il est fusible à la température rouge cerise, et sa capacité calorifique est 0,10 en

moyenne; électro-positif avec l'*or*, le *platine*, le *mercure* et l'*argent*, et électro-négatif avec l'*étain*, le *plomb*, le *fer* et le *zinc*. Le cuivre est beaucoup moins oxidable que le fer, et résiste en général plus que lui aux agents destructeurs auxquels ils sont exposés dans les machines; il ne décompose pas l'eau par la température; les huiles rances seules l'attaquent et le convertissent en hydrate et carbonate de cuivre.

Le cuivre du commerce est généralement assez pur; néanmoins, il est bon de dire que, depuis quelques années, cette pureté dégénère sensiblement; les matières étrangères qu'il contient sont, la plupart du temps, du *protoxide* de *cuivre*, du *fer*, du *carbone*, de l'*antimoine* et du *plomb*; ces matières, bien qu'en très-petite quantité, manifestent leur présence par la perte de ductilité qu'elles lui font éprouver. On a peut-être un peu exagéré cette propriété, en disant que 1 millième de plomb suffisait pour le rendre impropre à la fabrication des fils; car nous tenons de bonne part que l'on est en usage, pour cette fabrication, de lui adjoindre de 1 à 1.5 p. 100 de ce métal.

La production du cuivre en France est, pour ainsi dire, nulle. Les mines de *Chessy* et *Saint-Bel*, dans le département du Rhône, sont les deux seules que nous possédions, et c'est à peine si elles suffisent aux besoins du Midi. Le cuivre, employé généralement, arrive de toutes les localités où on l'exploite, et dont les principales sont : la *Russie*, l'*Angleterre*, la *Suède*, le *Mexique*, le *Pérou*, la *Belgique*, l'*Espagne*. Le cuivre le plus estimé est celui de *Russie*; il peut être considéré comme pur.

Il nous arrive peu de cuivre directement du *Mexique* et du *Pérou*; l'*Angleterre*, toujours prête à s'enrichir à nos dépens, a su enlever à notre marine les bénéfices qu'elle pouvait réaliser de ce côté, en allant accaparer la majeure partie du cuivre de ces deux pays, pour venir nous le vendre, après l'affinage, sous le nom de cuivre anglais, absolument comme elle fait pour ses aciers, dont elle tire le fer de Suède.

Le cuivre forme différents alliages, qui changent plus ou moins ses propriétés et le rendent propre à divers usages dans les arts :

99 *Cuivre* et 1 *potassium* donnent un cuivre d'une malléabilité extrême.

66 *Cuivre* et 34 *zinc* constituent le *laiton* ou *cuivre jaune*.

90 *Cuivre* et 10 *étain* donnent le *bronze*.

80 *Cuivre* et 20 *étain* donnent le *métal de cloches*.

60 *Cuivre*, 20 *nickel* et 20 *zinc* donnent le *maillechort*.

Nous étudierons ces alliages lorsque nous aurons donné les propriétés du zinc, qui nous reste encore à étudier.

§ 3. ZINC.

Pur, le zinc est un métal blanc bleuâtre assez éclatant, d'une texture lamelleuse et d'une odeur particulière; il est fusible à 374° centigrades, très-volatil, se distillant au rouge-blanc; refroidi lentement ou par condensation des vapeurs, il cristallise.

A la température ordinaire, l'air humide l'attaque et le recouvre d'une couche blanche qui est de l'oxide de zinc; chauffé à l'air, il s'oxide facilement; chauffé au rouge cerise, ainsi, il s'enflamme et répand dans l'atmosphère une fumée blanche qui n'est autre chose que son oxide. Il décompose l'eau, à froid, sous l'influence des acides les plus faibles.

Le zinc du commerce n'est pas parfaitement pur : les matières qui le souillent généralement sont le *carbone*, le *cuivre*, le *cadmium*, le *fer*, le *manganèse* et l'*arsenic*. Pour le purifier de toutes ces matières, il suffit de le distiller.

D'après les propriétés que nous venons d'énoncer pour ce métal, nous voyons qu'il est tout-à-fait impropre à faire concurrence au cuivre dans la construction des machines; aussi le considérerons-nous seulement maintenant comme élément d'alliages de ce dernier métal.

§ 4. ALLIAGES DE CUIVRE.

1° *Cuivre et potassium.*

Le *potassium*, métal excessivement oxidable puisqu'il décompose l'eau subitement à la température ordinaire avec dégagement de flamme, fusible et volatil et très-difficile à réduire, ne s'emploie pas à l'état métallique pour être allié au cuivre. L'alliage malléable de cuivre et potassium se prépare en fondant ensemble dans un creuset un mélange de cuivre et de bi-tartrate de potasse, ou bien de cuivre, charbon et carbonate de potasse.

Ce cuivre est excellent pour les chaudières à vapeur et les tuyaux de conduite, en ce qu'il se travaille avec une grande facilité.

2° *Cuivre et zinc.*

Le *laiton* ou *cuivre jaune* diffère du cuivre rouge en ce qu'il n'est plus mou, quoique encore malléable à un certain degré, est aigre à la lime et au travail du tour, et par cela même préférable au cuivre pour la confection d'objets façonnés. Il est très-bon pour supporter les frottements du fer dans les machines, en ce qu'il s'use seul sans se déformer ni gripper contre le fer, comme ferait le cuivre rouge ou tout autre métal malléable. A cet effet, on a soin de le confectionner en pièces qui peuvent se changer facilement en n'exigeant que la moindre dépense possible, par suite du petit volume qu'on leur donne; il sert principalement à faire les stuffing-box et les coussinets. Il est employé avec avantage à la confection des tuyaux, comme le prouvent tous les instruments à vent dont il est le seul élément. Dans les locomotives il sert à faire les tubes de circulation de la fumée.

3° *Cuivre et étain.*

1° *Bronze.*

Cet alliage est au cuivre mou ce que l'acier est au fer. C'est un métal d'une couleur jaune orangé, peu malléable, très-dur à travailler et très-résistant comme pièce de frottement contre le fer ou la fonte.

On a fait beaucoup d'essais pour rendre le bronze malléable. M. *Darcet*, dont le nom se trouve toujours sous la plume lorsqu'il s'agit de constater un résultat utile au pays, a composé des bronzes malléables, en réduisant à 8 p. 100 le dosage en étain, de 10 qu'il est généralement.

Le bronze, bien que plus susceptible que le laiton d'user les axes en fer dont il constitue les coussinets, est néanmoins de beaucoup préférable à ce dernier, qui présente le grave inconvénient, si on ne le graisse pas exactement, de s'échauffer, gripper et courber en très-peu de temps la surface du tourillon, ce qui nécessite un deuxième tournage, souvent impraticable et toujours dispendieux.

Une preuve que le bronze est le métal par excellence pour coussinets, c'est que les messageries, après des tâtonnements inouïs, sont arrivées à composer leurs boîtes de roues de 12 p. 100 étain et 88 cuivre rouge. Dans les bateaux à vapeur où les chocs des tourillons contre les coussinets sont moins violents, on porte le dosage en étain à 14 p. 100.

En général, si on veut avoir des tourillons en fer qui durent long-temps, on ne doit pas hésiter devant la dépense qu'occasionera la trempe en paquets, parce que cette dernière sera compensée par son bon usage; nous savons des tourillons en fer, trempés en paquet, qui fonctionnent dans des coussinets en bronze depuis 10 ans, et sont encore aussi bons aujourd'hui que lorsqu'ils étaient neufs. Le seul inconvénient de la trempe est de rendre quelquefois les ronds ovales et de nécessiter un second tournage, toujours impraticable avec les outils, mais facile par le rodage à l'émeri.

2° *Métal de cloche.*

Blanc jaunâtre, encore plus dur que le bronze, cassant et sonore. On l'emploie depuis quelque temps, avec avantage, dans les coussinets des locomotives de Saint-Germain.

L'étain, qui forme ces alliages avec le cuivre, est un métal blanc, peu oxidable, fondant à 267° centigrades, peu volatil. Par refroidissement ménagé, il cristallise en rhomboïdes; une baguette d'étain pur pliée fait entendre un craquement que l'on nomme *cri de l'étain*, qui sert à vérifier sa qualité.

L'étain du commerce contient assez souvent les métaux suivants : l'*arsenic*, l'*antimoine*, le *bismuth*, le *cuivre*, le *fer*, le *plomb* et le *zinc*. Il n'est pas aussi facile de l'en séparer que le zinc; ce n'est que par un traitement chimique que l'on y parvient.

4° *Cuivre, nickel et zinc, ou maillechort.*

Le *maillechort* est un métal d'une couleur blanc argenté, moins éclatante cependant que celle de l'argent; très-dur, mais non cassant, assez malléable pour être plié plusieurs fois et s'emboutir au balancier.

L'alliage de cuivre et nickel seul se rapproche du bronze pour la dureté; aussi, est-ce pour affaiblir cette qualité qu'on y ajoute du zinc.

Le maillechort n'a pas encore été employé dans les machines, mais peut s'y employer avec avantage partout où l'on met ordinairement le laiton. Malheureusement, sa valeur est bien différente et ne lui permet de figurer que là où l'on veut déployer du luxe.

Le nickel, qui est la base des propriétés de cet alliage, est un métal d'un gris blanc intermédiaire entre le blanc de

l'argent et le gris de l'acier : sa structure est crochue et sa cassure fibreuse, il est assez malléable et ductile, sa tenacité est très-grande; sa densité moyenne est 8,5; il est magnétique comme le fer, mais moins que ce dernier. L'air sec ne l'attaque pas à la température ordinaire, mais l'air humide l'oxide. L'air sec le convertit en oxide à la température rouge : il décompose l'eau à la température ordinaire, à la faveur des acides : son point de fusion est de beaucoup au-dessus de celui du cuivre, ce qui rend très-difficile le mélange des trois métaux qui composent le maillechort, comme nous le verrons plus loin.

§ 5. MATÉRIAUX POUR JOINTS ET GARNITURES DE PISTONS ET STUFFING-BOX.

Les matières que l'on emploie pour former les joints des pièces renfermant l'eau ou la vapeur dans les locomotives, sont:

1° Le plomb.
2° Le mastic de plomb.
3° Le mastic de fonte.

Celle qui sert à former les garnitures est : le chanvre.

1° *Plomb.*

Le plomb, rejeté comme trop mou lorsqu'il s'agissait de la confection des pièces de machines, est le métal par excellence pour faire les joints, tant à cause de sa fusibilité qu'à cause de son peu de dureté.

C'est un métal gris-bleuâtre, éclatant quand sa coupure est fraîche, entrant en fusion à 322° centigrades ; volatil à la chaleur blanche, s'oxidant à la température ordinaire, mais très-légèrement, et prenant alors une couleur gris terne. Exposé à l'air humide, il s'oxide plus vivement et se convertit en carbonate de plomb; il ne décompose jamais l'eau; chauffé au contact de l'air, le plomb se convertit en protoxide ou *litharge*, très-fusible. Les acides oxidants le dissolvent facilement.

Le plomb s'emploie comme joints, soit en lingots que l'on coule à chaud, soit en feuilles laminées.

Le plomb du commerce est généralement souillé des métaux suivants : *cuivre*, *antimoine*, *arsenic*, *zinc* et traces *d'argent*; il contient quelquefois du *soufre*. Toutes ces matières tendent à le rendre aigre, et par conséquent impropre à la confection des joints des pièces de machines.

2° *Mastic de plomb.*

Ce mastic, qui s'emploie généralement avec les feuilles de plomb pour faire les joints des chaudières et tuyaux, est un mélange de carbonate de plomb ou *céruse* et de sesquioxide de plomb ou minium délayés en pâte molle dans de l'huile de lin. La présence de ces matières dans l'huile de lin a la propriété de rendre cette dernière siccative; et comme ces trois matières sont insolubles dans l'eau, elles empêchent assez bien les fuites.

On prépare le mastic de plomb en dissolvant la céruse dans l'huile de lin en quantité suffisante pour durer un certain temps; puis, quand on veut se servir de mastic, on prend une portion de cette céruse pâteuse et on la saupoudre de minium, en ayant soin de bien battre le mélange. On reconnaît que le mélange est convenable, en formant un cylindre que l'on étire et qui doit s'allonger avant de se casser.

3° *Mastic de fonte.*

Le mastic de fonte est le résultat d'une réaction chimique qui s'opère entre du soufre et de la fonte en grenaille mélangés dans une dissolution de sel ammoniaque ou hydrochlorate d'ammoniaque. Le soufre, en contact avec le fer, à la température rouge, jouit de la propriété de l'attaquer subitement, ainsi que le cuivre, et de convertir ces métaux en sulfures. La même réaction a lieu lentement sous l'influence du sel ammoniac seul ou joint à de l'urine ou toute autre substance fermentescible, à l'aide de la température.

Si on mélange ensemble 20 fonte, 1 fleur de soufre, 2 sel ammoniac sans eau, la réaction ne s'opérera que lentement et par suite de l'humidité de l'air qui s'y dépose. Donc, quand on voudra l'employer, on le mouillera seulement au moment de s'en servir.

L'avantage du mastic de fonte est de se boursouffler au moment de la combinaison, ce qui le refoule dans tous les vides laissés dans les joints, et de devenir, à la longue, aussi dur que les métaux avec lesquels il est en contact.

Ce mastic, très-utile pour les machines à vapeur ordinaires, est rejeté complètement des locomotives, parce que précisément il fait de trop bons joints, et, comme il est souvent nécessaire de démonter des pièces, pour désunir les joints en mastic de fonte, il faut casser les tuyaux.

En général, il faut construire les machines avec le moins possible de joints rapportés; c'est là qu'on reconnaît le mérite des machines exécutées. On arrive à supprimer les joints rapportés, en ménageant ce qu'on appelle des *portées* à la fonte, ce sont des saillies très-minces et d'une largeur égale à l'épaisseur de la fonte que l'on fait venir à la coulée dans toutes les parties qui doivent s'assembler deux à deux. Ces saillies sont dressées à l'ajustage, de manière à coïncider parfaitement dans toute leur étendue.

RÉSUMÉ.

Pour toute pièce exigeant une tenacité et une légèreté maxima, on emploie le fer forgé.

Pour les parois des chaudières à vapeur, on emploie :

La tôle de fer pour celles non en contact avec le feu.

La tôle de cuivre pour celles en contact avec le feu.

Pour toutes les pièces de moulage non exposées à l'action des acides et d'une épaisseur au-dessus de 1 centimètre, on emploie la fonte.

Pour toutes pièces de frottement minces et apparentes, on emploie le laiton, le bronze ou le maillechort, suivant le goût du constructeur.

CHAPITRE II.

EXAMEN DES DIVERS MODES DE TRAITEMENT DES MATIÈRES PREMIÈRES POUR LES CONVERTIR EN PIÈCES DE MACHINES.

Comme dans toute espèce de fabrication, le travail de l'atelier de construction se divise en trois parties qui sont : 1° l'ébauchage des pièces ; 2° le finissage des pièces ; 3° l'assemblage des pièces.

L'ébauchage des pièces est assujetti au mode de traitement qui convient à chaque matière, pour passer de l'état de pièces de formes générales à l'état de pièces de formes spéciales et déterminées.

Le fer, avons-nous dit, est considéré dans les arts comme infusible, mais il est très-ductile et très-malléable à chaud.

L'acier, le plus généralement employé, est à peu près infusible, et jouit des mêmes propriétés que le fer.

La fonte, le cuivre et les alliages de ce dernier sont fusibles à des températures assez basses comparativement au fer et à l'acier.

Le fer se livre au commerce sous deux formes distinctes qui sont : 1° fer en barres plates, carrées ou rondes ; 2° tôle ou feuilles de fer.

L'acier se livre au commerce sous la forme unique d'acier en barres.

La fonte, sous la forme unique de *lingots* appelés *gueuses* ou *gueusets*, suivant leurs dimensions.

Le cuivre rouge, sous les deux formes : lingots et tôle. Les alliages du cuivre et les métaux qui entrent dans ces alliages, sous la forme unique de lingots.

De là, trois modes d'ébauchage des pièces qui sont :

1° Conversion du fer et de l'acier en barres, en pièces de machines ébauchées. Cette opération se fait dans l'atelier appelé *forge de maréchalerie* ou *forge à main*.

2° Conversion du fer et du cuivre à l'état de tôle, en pièces de machines qui sont les chaudières. Cette opération a lieu dans l'atelier appelé *chaudronnerie*.

3° Conversion des fontes et alliages de cuivre, à l'état de lingots, en pièces de machines ébauchées. Cette opération a lieu dans l'atelier appelé *fonderie*.

Le finissage des pièces consiste en une série d'opérations mécaniques qui s'effectuent dans l'atelier désigné sous le nom d'*ajustage*.

L'assemblage des pièces s'effectue dans un atelier séparé, connu sous le nom spécial de *montage des machines*.

Le travail de l'atelier de construction se divise donc en cinq ateliers distincts qui sont : la forge de maréchalerie, la fonderie, la chaudronnerie, l'ajustage, le montage.

Nous allons passer en revue chacun de ces ateliers.

§ 1. *Forge de maréchalerie* ou *forge à main.*

Le travail de la forge consiste à chauffer du fer dans un foyer dont la température peut s'élever au blanc soudant à volonté, et à battre ce fer, quand il est suffisamment chaud, sur une enclume, soit en frappant dessus directement avec le marteau, soit en plaçant entre le marteau et la pièce un outil spécial dont le contact doit communiquer à cette dernière la forme que l'on désire lui donner.

Le foyer employé dans les forges à main, consiste en une plate-forme en briques ou en fonte légèrement creusée en un certain point de sa surface pour recevoir du combustible, qui est généralement la houille. D'un côté de cette plate-forme, près du foyer, est un mur vertical en fonte ou briques, percé à sa partie inférieure d'un trou par lequel passe une tuyère allant lancer de l'air au milieu du foyer. Ce mur supporte en outre une cheminée dont l'origine est à une hauteur suffisante pour ne pas gêner le travail; cette cheminée reçoit les gaz qui s'échappent du foyer ou *feu de forge*.

Le vent est fourni tantôt par un soufflet mû à la main, tantôt par une machine soufflante mue par un seul moteur pour toutes les forges. Ce dernier cas s'emploie le plus souvent, quand le nombre des feux de forges dépasse 20. On évalue à $^1/_5$ de cheval au maximum, la force nécessaire pour souffler une forge à la main.

Les feux de forge sont d'ordinaire accouplés 2 à 2, donnant dans la même cheminée. L'espace qu'ils occupent ainsi est de 1^m sur 2^m, c'est-à-dire 1 m. q. par feu.

L'espace occupé par l'ouvrier autour de l'enclume, pour la manœuvre et le frappage des pièces, est de $1^m.50$ en sus du foyer, dans le sens longitudinal, sur 5^m dans le sens transversal, y compris tous les outils accessoires, dont nous parlerons plus loin.

Il suit de là que la largeur d'un bâtiment de forge est de 5m, et sa longueur 2m.50 multipliés par le nombre de feux. Si on y comprend la cour et les accessoires, il faut supposer 10m au lieu de 5.

Les outils fondamentaux de la forge sont : le *marteau*, l'*enclume* et les *tenailles*.

Il y a deux marteaux : le petit et le gros marteau.

Le petit marteau est tenu par le maître du feu ou *forgeron*, et le gros marteau est tenu par un manœuvre appelé *frappeur*. Le forgeron a tantôt un, tantôt plusieurs frappeurs, suivant la grosseur des pièces qu'il a à confectionner. Dans le cas où le vent du feu est donné par un soufflet, c'est le frappeur qui est obligé de le faire mouvoir pendant que le forgeron veille sur la pièce qui est au feu pour ne pas la laisser brûler, ce qui arrive quand le fer est exposé à un courant d'air pur à une haute température.

Les outils accessoires du forgeron, pour imprimer différentes formes aux pièces, sont : le *dégorgeoir* ou *chasse ronde*, la *chasse quarrée*, la *chasse à parer*, la *tranche*, l'*étampe*.

Le dégorgeoir ou chasse ronde sert à faire des *congés* ou quarts de cercle concaves.

La chasse quarrée sert à préparer une surface plane et à relier les congés avec ces faces.

La chasse à parer sert à finir une surface plane, c'est-à-dire à détruire tous les coups inégaux qu'une pièce de fer a reçus, en égalisant la surface. Mieux le travail de la chasse à parer a été fait, moins il reste de travail à faire à l'ajustage pour polir.

La tranche sert à couper.

L'étampe sert à arrondir une pièce ; son effet est l'inverse de celui du dégorgeoir. Comme il y a des ronds de toutes grosseurs, il y a aussi plusieurs étampes.

Ces seuls outils suffisent pour le travail extérieur des pièces de machines, travail qui se renferme dans les trois actions suivantes :

Dresser une face ;
Arrondir une face ;
Dégorger une face.

Le travail intérieur des pièces s'effectue au moyen d'outils appelés *mandrins*. Il y a un mandrin pour chaque pièce qui exige un travail intérieur, d'où résulte que le mandrin

ne servant à l'ouvrier que pour confectionner la pièce correspondante, ne doit pas rester en sa propriété comme les autres outils, et doit être déposé en une place où chacun peut l'aller chercher quand il en a besoin.

Les pièces de machines sont exécutées à la forge, d'après des dessins en grandeur naturelle faits soit sur papier, soit sur planches. Outre ces dessins, on fabrique, pour les pièces qui nécessitent une grande précision, des plaques de tôle mince découpées, représentant les faces les plus difficiles à exécuter. Ces plaques se nomment *calibres*. Les calibres ont l'avantage de pouvoir se présenter sur les pièces quand elles sont chaudes, et d'indiquer facilement où il faut ajouter ou rogner.

Les calibres, comme les mandrins, sont spéciaux pour chaque pièce, et doivent, par conséquent, suivre la même règle que ces derniers pour leurs places.

Outre les outils ci-dessus désignés, nous ajouterons :

1° Un *martinet* ou marteau d'un poids supérieur à celui des marteaux ordinaires, mû par une machine, pour chaque dix forges à main. Ce marteau, pesant environ 200 à 250 kilog., et exigeant une force motrice de 5 chevaux, sert pour la confection des grosses pièces de fer, et principalement quand on est obligé de souder plusieurs barres de fer carré ou rond ensemble.

2° Un gros *étau* pour chaque quatre forges à main. Ces étaux servent pour courber à chaud à angle droit, refouler, etc.

3° Un *étau* ordinaire par chaque deux forges à main. Ces étaux sont occupés généralement par des ajusteurs du second ordre ou serruriers, pour terminer les pièces qui sont destinées à être employées brutes de forme.

Administration des forges à main.

L'atelier des forges à main reçoit du fer et de l'acier en barres, et rend des pièces de machines brutes de forme. Une des conditions indispensables pour l'économie du travail, est que les pièces à confectionner se rapprochent le plus possible, dans leurs formes et dimensions, des fers et aciers que l'on a à sa disposition. Comme on ne peut satisfaire à cette condition qu'autant que les matières premières affectent des formes et dimensions très-variées, il est nécessaire d'avoir, dans la forge, un dépôt de tous les échantillons des

matières premières dont on sera à même d'avoir besoin. Ce dépôt constitue le magasin des *fers* et *aciers*.

Chaque pièce que l'on confectionne exige une certaine quantité de fer, et le prix de revient de cette pièce est variable, suivant le déchet produit par le forgeron qui l'a exécutée et le temps que ce dernier y a mis. Il est important de pouvoir se rendre compte de ces deux dépenses; à cet effet, on a une balance dans laquelle on pèse le fer demandé pour confectionner une pièce, et la pièce exécutée avec le fer rendu; on marque ces deux poids sur un livre, et on y joint le temps employé par le forgeron. Pour des pièces qui se répètent très-rarement, ce travail n'est pas important; mais pour des pièces qui se répètent souvent, il a la double importance, pour le constructeur, de lui indiquer: 1° à quel prix minimum il peut vendre les pièces; 2° à quel prix elles lui reviennent, suivant l'ouvrier qui les fait, et, partant, combien il doit les payer à l'entreprise.

Les pièces terminées se déposent dans un second magasin dit *des pièces finies* de forge.

Les dessins à exécuter et les dessins exécutés sont aussi classés chacun de leur côté et numérotés; si les dessins contiennent plusieurs pièces, chaque pièce porte un numéro particulier, outre le nom qu'elle porte habituellement.

La personne chargée de cette comptabilité des matières, de la distribution du travail et de la surveillance des ouvriers, se nomme *contre-maître de la forge*; les livres qu'il tient sont les suivants:

1° *Le livre des journées et travaux à l'entreprise.*

Dans ce livre, chaque forge est désignée par un numéro d'ordre et possède douze pages, une pour chaque mois de l'année, les pages sont divisées en sept colonnes, savoir:

1° Dates du mois;
2° Poids du fer livré au forgeron;
3° Poids du fer rendu par lui, brut et façonné;
4° Déchets;
5° Noms des pièces et force par rapport à une machine en chevaux ou un diamètre de tige correspondant;
6° Nombre d'heures de travail pour chaque journée;
7° Prix des pièces fabriquées à l'entreprise.

Au bas de la page se font les additions. De ces additions on déduit:

1° La quantité de déchet produite par 1 kilog. de fer fabriqué ;

2° Le prix de revient de la main-d'œuvre pour 1 kilog. de fer fabriqué, en remplaçant le nombre d'heures de travail par la valeur en argent payée à l'ouvrier.

2° *Le livre de comptabilité des matières.*

Ce livre comprend l'entrée des matières premières et la sortie des matières fabriquées. Les matières premières sont : le *fer*, l'*acier*, la *tôle*, la *houille*, les *fournitures* diverses.

Les matières fabriquées sont des *pièces* de *machine*.

On écrit tous les jours les matières qui entrent, affectées chacune d'une valeur déterminée.

Tous les mois on récapitule les produits de chaque ouvrier dans la colonne des sorties des matières fabriquées, ainsi que ses déchets. On obtient ainsi un second déchet moyen par kilog. de fer.

Au bout de l'année, on fait l'inventaire de tout ce qui reste à la forge, tant en outils qu'en matières premières, et on évalue le tout en argent ; ensuite on fait la somme des dépenses de l'année tant en main-d'œuvre qu'en fournitures ; alors, connaissant le poids des matières fabriquées, la valeur des objets restants et la valeur des consommations, on en déduit le prix de 1 kilog. de matière fabriquée.

En suivant cette règle, on est arrivé aux résultats suivants :

1° En supposant que les meilleurs forgerons sont payés 5 francs par jour de douze heures de travail, le prix moyen de la main-d'œuvre, par 100 kilog. de fer fabriqué, est 25 fr. 30. cent.

2° Les rapports entre les prix de main-d'œuvre et les quantités de fer fabriquées à ces prix sont :

1	fer	à	40	fr. les 100 kilog.
20	*id.*	à	35	
2.7	*id.*	à	30	
10	*id.*	à	25	
6.7	*id.*	à	20	
13.4	*id.*	à	15	
3.2	*id.*	à	10	

Ce qui donne pour le prix de revient moyen de 100 kil.

$$\frac{1 \times 40 + 20 \times 35 + 2.7 \times 30 + 10 \times 25 + 6.7 \times 20 + 13.4 \times 15 + 3.2 \times 10}{1 + 20 + 2.6 + 10 + 9.7 + 13.4 + 3.2}$$

ou 25 fr. 30 cent., comme nous avons dit ci-dessus.

3° Un forgeron gagnant 5 fr. par jour, forgeant de gros axes, fait par mois 1.300 à 1.400 kilog. de fer fabriqué. Si nous prenons 1.350 en moyenne, nous avons pour 25 jours de travail :

$$\frac{25 \times 5}{1350} = 0 \text{ fr. } 0925 \text{ le kil.}$$

pour le forgeron seul.

Ce forgeron occupe deux frappeurs, qui, à 1 fr. 75 cent. par jour, font $\frac{25 \times 2 \times 1.75}{1350} = 0$ fr. 065 le kilog. pour les frappeurs.

$$0.0925 + 0.065 = 16 \text{ fr. les 100 kilogrammes.}$$

Un forgeron gagnant 5 fr. par jour, et forgeant de grandes chappes de parallélogrammes ou des roues de locomotives, produit par mois de 1.000 à 1.200 kilog. de fer fabriqué.

Soit 1.100 kilogrammes en moyenne :

$$\frac{25 \times 5}{1100} = 0 \text{ fr. } 114 \text{ le kilog. pour le forgeron.}$$

Trois frappeurs à 1 fr. 75 centimes donnent :

$$\frac{3 \times 25 \times 1.75}{1100} = 0 \text{ fr. } 12 \text{ par kilog.}$$

$$0.114 + 0.12 = 24 \text{ fr. les 100 kilog.}$$

Un forgeron gagnant 3 fr. 50 c. par jour, et forgeant de petites pièces de machines, produit par mois 400 kilog. de fer fabriqué.

$$\frac{25 \times 3.50}{400} = 0 \text{ fr. } 22 \text{ le kilog.}$$

pour le forgeron seul.

$$\text{Un frappeur } \frac{25 \times 1.75}{300} = 0 \text{ fr. } 146 \text{ par kilog.}$$

$$0.22 + 0.146 = 37 \text{ fr. les } 100 \text{ kilog.}$$

La production moyenne d'un forgeron est 500 kilog. par mois, donc 20 kilog. par jour pour pièces moyennement fortes et moyennement difficiles. Ces 20 kilog. à raison de 25 fr. 30 c. les 100 kilog., font 5 fr. 05 pour la journée moyenne du forgeron et de son frappeur.

Frappeur 1.75, et forgeron 3.30

Au moyen de ces données, on pourra calculer le prix de revient de la main-d'œuvre par kilog. de fer fabriqué pour une paye quelconque des ouvriers, en posant une simple proportion.

4° Les déchets varient entre 5 et 15 p. 100, suivant les pièces. Ils sont d'autant plus considérables que les pièces sont plus petites. L'habileté de l'ouvrier a aussi une grande influence sur les déchets : en moyenne 10 pour 100.

5° La consommation en combustible est en moyenne de $^1/_8$ hectolitre par jour et par feu de forge.

6° Admettant que l'hectolitre de houille coûte 0.50, le kilog. de fer brut 0.38, la main-d'œuvre par kilog. 0.253, le prix de revient moyen de 1 kilog. de fer fabriqué à la forge est 0.80, toutes fournitures comprises.

Si on ajoute à cela les frais d'administration, l'intérêt de capitaux, les pertes, etc., on a, pour prix de revient de 1 kilog. de fer forgé en moyenne 1 franc.



Partant de là, nous établirons le prix de revient de 1 ki-

log. fer, pour les diverses main-d'œuvres considérées ci-dessus par la proportion arithmétique :

0.253. 1 : 0.40. x = 1 f. 15 le kilog.
0.253. 1 : 0.35. x = 1. 10 *id.*
0.253. 1 : 0.30. x = 1. 05 *id.*
0.253. 1 : 0.25. x = 1. 00 *id.*
0.253. 1 : 0.20. x = 0. 95 *id.*
0.253. 1 : 0.15. x = 0. 90 *id.*
0.253. 1 : 0.10. x = 0. 85 *id.*

Ou : si pour main-d'œuvre = 0.253, le prix du fer est 1 fr. pour main-d'œuvre = 0.40, 0.35, 0.30, etc., combien sera-t-il ?

x = 1.15, 1.10, etc.

§ 2. *Fonderie.*

Pour obtenir une pièce de machines en fonte ou en cuivre, on commence par faire un modèle de cette pièce en bois ; ensuite on moule ce modèle dans du sable préparé pour l'usage de la fonderie ; on sèche le moule et on y coule de la fonte qui a été mise en fusion dans des appareils spéciaux pour cette opération.

Si la pièce coulée renferme des vides intérieurs, on réserve ces vides dans les moules au moyen de pièces en sable et argile préparées et appelées *noyaux*.

La fonderie se divise en deux sections principales qui sont :

1° L'atelier des *modeleurs* et le magasin des *modèles*.

2° La *fonderie* proprement dite.

1° *Atelier des modeleurs et magasin des modèles.*

L'art du modeleur consiste à exécuter en bois les pièces telles qu'elles seront en métal après la fusion. Comme les fontes en général prennent un retrait d'environ $^1/_{100}$ après la coulée, le mètre du modeleur a un centimètre de plus que le mètre ordinaire.

Les pièces de fonderie étant généralement de grandes dimensions, sont dessinées sur papier à l'échelle de $^1/_5$ ou $^1/_{10}$. Dans ce cas, le dessin doit être refait à l'atelier des modeleurs en grandeur naturelle, et avec le mètre du modeleur comme échelle, soit sur des planches que l'on distribue à chaque ouvrier, soit sur un parquet dans une salle dite *salle d'épures*.

Les pièces exécutées en bois diffèrent des pièces telles qu'elles seront après la coulée, en ce que le modèle doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° Pouvoir se retirer facilement du moule, sans le déformer.

2° Laisser des places pour loger les extrémités des noyaux qui sont en général des pièces traversant la fonte de part en part, et ne pouvant se soutenir par le simple contact de leurs extrémités avec la paroi intérieure du moule.

Pour retirer facilement le modèle du moule, on le fait, si le cas l'exige, de plusieurs pièces; en outre on donne aux faces indiquées cylindriques ou prismatiques dans le dessin, une légère inclinaison conique ou pyramidale que l'on nomme *dépouille*.

Pour loger les extrémités des noyaux dans les parois du moule, partout où est indiqué un vide dans le dessin, on ajoute au moule une saillie, nommée *portée*, d'une longueur variable entre 1, 2, 3 et 4 centimètres, et d'une section égale à celle de ce vide. Alors on fait un moule en bois que l'on nomme *botte à noyau*, d'une forme intérieure égale à celle du vide de la fonte, augmentée du vide occasionné par la saillie rapportée. Lorsque ce noyau est cylindrique d'un diamètre au-dessus de 3 centimètres et d'une longueur d'un mètre au moins, comme pour tuyaux et colonnes, on ne fait pas de moule, et il se fabrique par un procédé que nous indiquerons plus loin.

Chaque pièce que l'on exécute à la fonderie ayant un modèle particulier, il s'ensuit que les frais de construction sont d'autant plus considérables que les pièces employées se répètent moins souvent. On doit donc tendre, autant que possible, pour la fonderie, comme pour la forge, à avoir un certain nombre de pièces générales, dont la combinaison avec quelques pièces spéciales à chaque machine constitue toutes les machines que l'on veut exécuter.

Les modeleurs sont des menuisiers ébénistes, et, partant, possèdent tous les outils de cette profession. Chaque ouvrier occupe un *établi*, et il y a un *tour* pour six établis de modeleurs.

La place occupée par un modeleur est 3 mètres sur 4, ce qui fait 12 mètres quarrés, en moyenne; cette place varie suivant la dimension du modèle à confectionner. On compte en outre pour le magasin des modèles une surface de cent

mètres quarrés par modeleur. Ce magasin est en général placé à côté de l'atelier des modeleurs, abrité des rayons du soleil, mais possédant un courant d'air de l'est à l'ouest, direction suivant laquelle les variations de température sont le moins sensibles. Ce courant d'air a pour but de contre-balancer l'impression de l'humidité sur les modèles, et comme ils ne reçoivent pas la chaleur du soleil, ils se trouvent dans un état hygrométrique moyen qui les empêche de travailler. Il est de la plus haute importance de veiller à avoir une température et une saturation régulières de l'air dans l'atelier de modèles ; sans cette condition, ils sont perdus en peu de temps, parce qu'ils se déjettent et se fendent ou se pourrissent. C'est une bonne précaution que celle de les peindre sitôt qu'ils sont faits; on n'emploie pas la couleur à l'huile, mais la couleur à l'esprit de vin, qui, s'appliquant en couches minces, n'altère en rien leurs formes extérieures.

Au-dessus des modeleurs, est la salle des épures, et au-dessus des modèles, le dépôt des bois destinés à être employés à leur confection. Ces bois sont le plus généralement le sapin et le noyer, le premier servant pour les grosses pièces, comme le plus économique; le second pour les petites pièces.

La qualité qui fait rechercher ces bois est leur stabilité hygrométrique, quand une fois ils sont bien secs.

Pour être sûr de n'employer pour modèles que des bois secs, on les laisse dans le grenier, où on les dépose, pendant au moins quatre ans ; on en conserve même pendant dix ans pour les modèles qui coûtent très-cher à confectionner, et que l'on désire garder longtemps.

Administration.

L'administration de l'atelier des modèles diffère de celle de la forge en ce que les pièces confectionnées ne sortent que pour un temps déterminé, et rentrent au bout de ce temps dans l'atelier des modèles. En outre, il n'est pas nécessaire d'avoir un compte exact du travail de chaque modeleur; il suffit de savoir la consommation moyenne de bois par mois, et la main-d'œuvre, pour déduire le prix de revient des modèles pour 1 kilog. de fonte coulée, prix excessivement variable, mais qui a aussi sa moyenne.

Le contre-maître de l'atelier des modeleurs doit connaître :

1° Le dessin ;
2° Le moulage ;
3° L'ébénisterie.

Le dessin, pour exécuter lui-même ou faire exécuter sous ses yeux, en grandeur naturelle, sur des planches ou sur le parquet, les modèles à confectionner.

Le moulage, pour confectionner les modèles de manière à ce qu'ils puissent servir aux mouleurs et leur opposer le moins de difficultés possible.

L'ébénisterie, pour la surveillance de la confection des modèles.

Les livres qu'il doit tenir sont les suivants :

1° Livre des journées de ses ouvriers ;
2° Livre des modèles à exécuter ;
3° Livre des modèles renfermés dans le magasin.

La comptabilité des fournitures, quelles qu'elles soient, se tient à la comptabilité générale de l'atelier de construction.

On peut ainsi calculer le prix de revient des modèles par kilog. de fonte coulée.

Une fonderie coulant 6,000 kilog. de fonte par jour, occupe :

1 contre-maître à.	6 fr.
6 ouvriers à.	3.50

Total : 6 + 21 = 27 fr.

Admettant que la dépense en outils, bois, fournitures diverses et intérêt de capitaux est égale à 23 fr., nous aurons une dépense nette de 50 fr. par jour pour 6,000 kilog. fonte

$$\text{coulée} = \frac{50}{6000} = 0\text{f.}\,00843 \text{ par kilog. de fonte coulée.}$$

Le kilog. de fonte coulée brute, c'est-à-dire non ajustée, vaut 0.35 ; les frais de modèles sont donc $\frac{1}{40}$ en moyenne de la valeur de la fonte coulée.

Cette dépense, que nous indiquons ici pour les modèles, peut servir à l'appréciation des dépenses mensuelles et annuelles d'un atelier de construction ; mais il ne faudrait pas

s'y fier en faisant le devis d'une machine, parce que si ; d'une part, elle devient presque nulle pour les pièces qui se coulent un grand nombre de fois, de l'autre elle peut être considérable pour celles qui ne seront coulées qu'une fois, et cela arrive toutes les fois que l'on commande des machines dont les dimensions ne concordent pas avec celles adoptées par le constructeur. Dans ce cas, on ne sera pas loin de la vérité en évaluant les frais de modèles au $\frac{1}{40}$ de la valeur de la commande complète.

2° *Fonderie.*

La fonderie a pour but de convertir les fontes de fer grises, à l'état de gueuses, et les alliages du cuivre, à l'état de lingots, en pièces brutes de machines.

Pour la fonte de fer nous dirons que, dans les hauts-fourneaux, on coule quelquefois la fonte dans des moules autres que des gueuses, mais qu'en général, si on veut avoir des moulages soignés et en fonte bien épurée de laitiers, il faut faire une seconde fusion. De là, deux espèces de moulages : moulage en première fusion, moulage en seconde fusion.

Les qualités d'une bonne fonte de moulage sont les suivantes :

1° Fluidité parfaite pour bien prendre les empreintes des moules.

2° Tenacité et douceur au travail de l'ajustage.

3° Grain serré et compacte, pour éprouver le moins de retrait possible par le refroidissement.

Les fontes de première fusion remplissent bien la première condition, mais rarement les deux autres; néanmoins on peut s'en servir sans crainte, quand elles sont reconnues, d'ailleurs, de bonne qualité, pour toutes les pièces employées brutes dans les machines, telles que contre-poids, plaques de fondation, entablements, etc.

La seconde fusion donne à la fonte les deux dernières qualités, en la séparant des laitiers dont elle est toujours souillée après la première fusion.

La fonderie en seconde fusion se divise en quatre parties distinctes :

1° La fonderie de fer en sable d'étuve.

2° La fonderie de fer en sable vert.
3° La fonderie de cuivre.
4° La moulerie des noyaux, dite moulerie en terre.

1° *Fonderie en sable d'étuves.*

On nomme sable d'étuve, un sable argileux qui, sans se coller après les modèles sur lesquels on le moule, possède assez de consistance pour que, séché, il ne forme plus qu'une seule et même masse résistante et pouvant se casser comme de la terre cuite. La quantité d'argile contenue dans ce sable est limitée par la propriéte qu'elle a de se fendre par la dessiccation, quand elle est abondante dans un mélange; pour cette raison, on en met le moins possible, c'est-à-dire ce qu'il faut pour donner du lien au sable.

Les moulages se font sur chantier à moule découvert ou en châssis couvert. Les moulages sur chantier à découvert consistent en pièces de peu d'importance, que l'on moule sur le sol même de la fonderie, que l'on dessèche, quand le moule est retiré, par du charbon d'abord froid, ensuite allumé, et que l'on coule ainsi sans recouvrir. Ce genre de moulage a l'inconvénient, pour les bonnes fontes surtout, de donner une face supérieure bombée, lorsqu'elle devrait être plane, et d'être, par conséquent, tout-à-fait impropre aux objets soignés.

Les moulages à couvert se font généralement dans des *châssis*, espèces de caisses en bois ou en fonte, principalement en fonte dans les usines bien montées, à claire-voie, le plus légères possible, destinées à recevoir les moules des pièces que l'on veut couler. Quand les pièces sont très-grandes et plates, comme les balanciers, les volants, etc., il n'y a qu'un seul châssis supérieur, le dessous se moulant dans le sol; dans tous les autres cas, il y a toujours au moins deux châssis pour une même pièce à couler, le châssis inférieur et le châssis supérieur. Au moyen de ces appareils, on peut non-seulement couler les pièces dans toutes les positions que l'on désire, horizontale, inclinée ou verticale, mais encore on peut réunir les moules ensemble et les porter dans un séchoir commun, dont le but est d'accélérer et économiser le séchage; de plus, les châssis donnent de l'aisance au mouleur, et, quand les moules sont secs, ils se placent facilement les uns à côté des autres, sur la ligne que

parcourt la cuillère dans laquelle est la fonte liquide destinée à les remplir.

Il existe deux modes pour mettre la fonte en fusion :

Le premier consiste dans l'emploi du *four à réverbère*.

Le second consiste dans l'emploi du *cubilot*.

Lorsque l'on fait usage du four à réverbère, on ne coule qu'une fois par jour. Le matin, à huit ou dix heures, on allume le fourneau, et à six heures du soir, la fonte est bonne à couler. Chaque fois on a soin de refaire la sole.

Lorsqu'on fait usage du cubilot, on peut couler à toutes les heures du jour.

Le fourneau à réverbère présente sur le cubilot l'avantage de permettre de couler de grandes quantités de fonte à la fois ; il y en a de deux dimensions : la première fait des coulées de 3,000 kilog. ; la seconde, des coulées de 6,000 kilog. Par le cubilòt, on coule généralement par 200 kilog. à la fois, c'est-à-dire la charge de trois hommes, les cuillères étant portées à bras d'hommes. On peut, il est vrai, pousser ce chiffre plus loin et obtenir jusqu'à 1,000 kilog. de fonte liquide à la fois dans un cubilot, de sorte qu'en en mettant trois, on a l'équivalent d'un four à réverbère. Il est difficile de se prononcer pour l'un ou pour l'autre de ces appareils, en ce qu'ils offrent chacun leurs avantages et leurs inconvénients.

La consommation en houille, pour les fours à réverbère, est de 30 p. 100 sur le poids de la fonte coulée, et le déchet varie entre 6 et 8 p. 100.

Les cubilots chauffés au charbon de bois exigent 60 à 80 charbon p. 100 fonte, et les déchets varient entre 7 et 15 p. 100, suivant que la fonte a été mise dans le fourneau en gros ou en petits morceaux, et suivant sa qualité.

Chauffés au coke, ils n'en exigent que 35 à 50 p. 100 fonte. Les déchets varient dans ce cas entre 8 et 10 p. 100.

Les cubilots nécessitent une matière première de plus que les fours à réverbère ; c'est la castine qui doit accompagner les gouttes de fonte à l'état de laitier, pour que ces dernières ne soient pas attaquées par le vent du soufflet. La quantité de castine ajoutée varie entre 4 et 5 p. 100

La quantité d'air qu'il faut lancer dans les cubilots varie suivant leurs dimensions. Pour les petits chauffés au charbon de bois, on envoie 7 m. c. d'air par minute avec des buses de 3 centimètres à une pression de 6 centimètres, ce qui

correspond à deux chevaux de force environ. Pour les mêmes fourneaux au coke, on lance 10 m. c. d'air à une pression de 8 centimètres, ce qui fait trois chevaux. Dans les grands fourneaux, on pousse la quantité d'air à 20 et 25 m. c., correspondant à 6 et 8 chevaux.

Les principales dimensions des fours à réverbère sont les suivantes :

Sole : 2 mètres de long sur 1^m de large.
Grille : $^2/_7$ de la sole

Cheminée { section inférieure $^1/_3$ de grille.
section supérieure $^1/_4$ *id.*

La sole est inclinée à 15 ou 18°.

Les cubilots ont en général les dimensions suivantes :

		m. q.
Section inférieure	petit. . . .	0.11
	grand . . .	0.20
Hauteur.	petit. . . .	2.60
	grand. . .	3.25
Hauteur des tuyères au-dessus de la sole.		0.25

On met deux rangs de tuyères superposées quand on veut beaucoup de fonte à la fois.

Dans la fonderie en sable d'étuve et au four à réverbère, le séchage des moules se fait la nuit et se prolonge le lendemain, s'il est nécessaire, la coulée n'ayant lieu que le soir.

Pour opérer la coulée, on place la cuillère ou grande marmite en fonte suspendue à une grue, dans une fosse vers laquelle se dirige une rigole en sable partant du trou d'écoulement de la fonte du four à réverbère; puis, on distribue les moules sur toute la circonférence que décrira la cuillère en tournant avec la grue. Si tous les moules ne peuvent tenir sur cette circonférence, ou s'il y a des moulages sur le sol même de la fonderie, on a une ou plusieurs autres grues disposées pour recevoir la cuillère de la première, quand les moules qui l'entourent seront remplis; toutes ces grues sont à point d'attache variable, afin que l'on puisse allonger ou raccourcir à volonté le rayon de la circonférence décrite par la cuillère.

Quand tout est bien disposé, on verse la fonte dans la cuillère; on l'enlève et on coule. Il y a deux ouvriers spéciaux

pour la coulée; ce sont les plus habiles de l'atelier : l'un d'eux la fait basculer au moyen d'une clef, ce qui est facile parce qu'elle est suspendue un peu au-dessus seulement de son centre de gravité; l'autre retient les ordures qui sont à la surface du bain de fonte, ordures qui se composent de sable et cendres jetés là pour empêcher le rayonnement de la fonte et pour absorber en même temps les laitiers qui surnagent. Les moules reçoivent la fonte par un trou évasé, en forme de cône renversé, et sont munis, dans leur point le plus élevé, qui est généralement près du trou de coulée, d'un second trou par lequel l'air s'échappe à mesure que la fonte remplit le moule. Sitôt qu'un moule reçoit de la fonte, il se dégage par le trou d'air une flamme bleue que l'on reconnaît être celle de l'oxide de carbone; de plus, il se produit une foule de petites explosions par les fissures des moules provenant de l'inflammation du gaz qui s'en échappe, lequel est de l'hydrogène carboné. Ces explosions sont quelquefois dangereuses; aussi a-t-on soin, quand on coule, d'armer les gamins de torches allumées qu'ils promènent partout où ils voient des fuites de gaz. Ces dégagements d'oxide de carbone et d'hydrogène carboné proviennent : 1° de la poussière de charbon avec laquelle on a soin de peindre à l'eau l'intérieur des moules pour rendre leur surface plus lisse et les empêcher de se coller à la fonte; 2° de l'eau et du charbon qui se trouvent renfermés dans le sable même du moule.

Tous les châssis sont fermés solidement, d'abord pour éviter les fuites de fonte, ensuite pour reporter la poussée qui se produit dans la fonte, au moment du refroidissement, sur les trous de coulée d'air.

Dans le cas où les moulages sont sur le sol de la fonderie et à couvert, on charge les châssis en les recouvrant d'un poids au moins égal à la pression d'une colonne de fonte sur leur surface, dont la hauteur est égale à celle du trou de coulée. La tendance qu'a la fonte à soulever les châssis dépend, non-seulement de la cristallisation, mais encore de sa densité qui est beaucoup plus forte que celle des moules.

Lorsque les noyaux des moules ne sont pas fixés solidement, ou sont très-longs, comme ceux des colonnes coulées horizontalement, l'influence des densités se fait sentir par le soulèvement du noyau, soit en totalité, soit en partie. Dans ce cas, on a soin de mettre entre la partie supé-

rieure du noyau et le dessous du châssis supérieur, de petits soutiens composés de deux plaques de tôle minces et très-petites, reliées par un clou rivé des deux côtés. Par ce moyen, lorsque la fonte tend à soulever le noyau, ce dernier est retenu par ces plaques dans sa position normale. Ces soutiens se perdent dans la fonte; quelquefois on peut retirer les plaques; mais les clous restent toujours. Il résulte assez souvent de ce procédé un inconvénient grave pour les tuyaux; c'est que les clous sont plus facilement attaqués que la fonte par les eaux acidulées, et alors il se manifeste des fuites aux trous qu'ils occupaient: aussi, dans les commandes de tuyaux, a-t-on soin de spécifier qu'ils seront coulés debout, auquel cas la fonte ne peut plus déranger le noyau.

Pour couler les pièces debout, il est nécessaire d'avoir une cavité dans laquelle on puisse déposer les moules, sans quoi il faudrait monter la cuillère à une hauteur où il serait peu facile de la manœuvrer. A cet effet, on réserve au milieu de la fonderie une fosse circulaire que l'on peut recouvrir à volonté avec des plaques de fonte. Au milieu de cette fosse est une grue qui sert non-seulement pour la cuillère, mais encore pour descendre et remonter les moules.

Outre les moulages en sable, il y a les moulages en coquille qui sont spécialement affectés aux roues des wagons et aux cylindres de laminoirs.

Les roues de wagons se font en sable vert; nous n'en parlerons pas ici.

Les cylindres *durs*, cylindres de laminoirs, se montent en trois parties: les deux extrémités en sable, le milieu en coquille. La coquille est une espèce de tonneau en fonte creuse à l'intérieur et ayant 15 centimètres dans sa plus grande épaisseur. Les cylindres durs se coulent debout dans la fosse. D'après la disposition du moule, on obtient, après le refroidissement complet, deux surfaces sur la même pièce, l'une en fonte blanche, l'autre en fonte grise. La partie en fonte blanche est la table du laminoir; la partie en fonte grise constitue les tourillons et l'intérieur du cylindre. Il est important que le corps du cylindre et les tourillons soient en fonte grise, parce que, s'ils étaient en fonte blanche, ils ne fonctionneraient pas 24 heures sans casser.

Les cylindres durs se coulent par dessous, c'est-à-dire que la fonte, au lieu d'être injectée dans le moule par en haut, y arrive lentement par un tuyau qui communique avec

le bas du moule. Cette disposition a le grand avantage d'éviter les soufflures dont la présence dans un cylindre dur à l'endroit des collets est une cause de rebut.

Quelquefois le durcissement de la surface de la table ne s'opère pas d'une manière satisfaisante : tantôt il est trop considérable, et alors les cylindres sont sujets à casser ; tantôt il est trop faible, et alors les cylindres ne durent pas parce qu'ils s'usent vite. Pour remédier, à coup sûr, à cet inconvénient, on a imaginé au *Creusot* de couler une première cuillère de fonte blanche remplissant le moule ; puis, de la faire suivre d'une seconde en fonte grise qui, chassant par en haut toute la fonte blanche restée liquide dans le moule, n'y laisse que celle qui a durci immédiatement par suite de son contact liquide avec la paroi métallique. Ce procédé, tout simple qu'il paraisse, exige une certaine habitude pour réussir complètement, mais aussi donne des résultats très-avantageux, malgré l'accroissement de dépense provenant du chauffage d'une double quantité de fonte.

Le sable qui a servi à faire un moule et dans lequel on a coulé, est en gros fragments durs et incapables de resservir sans avoir subi une préparation. Cette préparation consiste à le broyer sous une ou deux meules roulantes dans une chambre appelée *moulin à sable*. Ces meules sont mues par un cheval ou par la machine qui sert à souffler les cubilots. On le fait ensuite rentrer à la fonderie en mélange avec du sable neuf auquel il sert de ciment.

Les châssis sont déposés dans une cour régnant autour de la fonderie et appelée pour cette raison cour de la fonderie. Comme il y a des châssis fort lourds, on sillonne cette cour de petits chemins de fer, au moyen desquels des wagons transportent les châssis aux endroits où on en a besoin.

Un mouleur occupe dans la fonderie en sable d'étuve, y compris les fours et le séchoir, un espace de 25 mètres quarrés. Si on ajoute à cela le moulin à sable, le dépôt des châssis, des fontes brutes, des fontes moulées, du sable neuf, on pourra porter cet espace à 100 mètres quarrés.

2° *Fonderie en sable vert.*

La fonderie en sable vert diffère de celle en sable d'étuve en ce qu'on coule dans le sable frais, c'est-à-dire aussitôt que le moule est terminé. Ce procédé accélère le travail et le rend en même temps économique.

Le four à liquéfier la fonte, pour ce genre de fonderie, est nécessairement le cubilot, en ce qu'il permet d'obtenir de la fonte à toute heure.

Pour le travail, la fonderie en sable vert ne diffère pas de celle en sable d'étuve; seulement on l'applique principalement aux pièces de petites dimensions ou minces, parce que la résistance du sable est beaucoup moins grande que dans la première. C'est du reste un procédé assez nouveau, et qui prend de l'extension de jour en jour. Les pièces obtenues en sable vert offrent un aspect brillant qui les distingue facilement des pièces moulées en sable d'étuve, dont l'aspect est généralement terne; mais ces dernières ont l'avantage de présenter des formes beaucoup plus exactes et plus tranchées, par suite de la résistance du moule; en un mot, la fonte y prend mieux. Le moulage en sable vert est beaucoup plus difficile que celui en sable d'étuve, il faut des ouvriers très-exercés.

Les accessoires de la fonderie en sable vert sont le moulin à sable, le dépôt des châssis, des fontes brutes et moulées, ainsi que du sable neuf. L'espace occupé par un mouleur en sable vert est 15 mètres quarrés dans la fonderie et 50 mètres quarrés total, y compris les accessoires.

Nous avons dit que les moulages en coquilles de la fonderie en sable vert consistaient en roues de wagons. Ces roues se coulent à plat sur le sol, dans un cercle en fonte de 10 centimètres d'épaisseur et de la hauteur de la jante de la roue. La forme intérieure de ce cercle est celle extérieure de la jante; les autres parties de la roue, les bras et le moyeu, sont moulés en sable. Une précaution à prendre, lorsque l'on coule des roues de wagons, c'est de diviser le moyeu en 3 parties égales par des plaques de tôle mince placées avant la coulée. Cette précaution a pour but de permettre le retrait de la fonte des bras, en agrandissant, il est vrai, le cercle extérieur du moyeu, mais sans casser les bras, ce qui aurait lieu infailliblement si le moyeu était d'un seul morceau. Ce que nous disons pour les roues de wagons s'applique aux poulies, et, en général, à toutes les roues dont les bras sont très-minces; on rend la solidité au moyeu en le garnissant de chaque côté d'une *frette* en fer posée à chaud après que l'on a rempli par des plaques de tôle les 3 interstices occasionés par le retrait.

3° *Fonderie en cuivre.*

Les moulages se font en sable d'étuve et en sable vert, en sable d'étuve pour les grosses pièces, en sable vert pour les petites ; et c'est le cas le plus général d'un atelier de construction, surtout pour les locomotives. Le sable vert est plus économique, mais infiniment moins favorable à la bonne qualité des pièces fondues ; il donne presque toujours des soufflures par suite du refroidissement trop prompt qu'éprouve le métal en entrant dans les moules humides. Lorsque l'on a de grosses pièces à couler, on emploie le four à reverbère; jamais le cubilot, du moins dans les usines bien dirigées, car ce genre de fourneau est d'un effet détestable et désastreux pour toutes les opérations de fonderie de cuivre. D'une part, c'est le zinc qui se volatilise, de l'autre, c'est l'étain qui se vitrifie, et enfin c'est le cuivre qui dissout une partie du carbone avec lequel il est en contact, devient noir et presque infusible. Lorsque l'on n'a que de petites pièces à couler, on emploie des creusets de terre ordinaire, d'une capacité égale à la quantité de cuivre que l'on veut couler à la fois. On place ces creusets dans des fourneaux analogues aux fourneaux d'essai des minerais, et généralement munis d'un soufflet.

Les matières premières de la fonderie en cuivre y arrivent tantôt pures, tantôt mélangées. Quand elles sont mélangées dans des proportions convenables, il suffit de les mettre dans le creuset, de les chauffer et de les couler dès qu'elles sont suffisamment liquides. Si les mélanges nécessitent l'addition de quelques matières premières, on prend les précautions que nous allons indiquer pour les cas où elles sont livrées pures à la fonderie.

1° *Cuivre jaune ou laiton.*

Le cuivre liquide s'oxide facilement et se convertit en une poudre noire qui constitue un déchet et forme des pailles dans les pièces moulées ; il est donc de toute importance d'abriter, autant que possible, l'intérieur du creuset du contact de l'air.

En second lieu, le zinc est volatil à la température où le cuivre est seulement liquide, et beaucoup plus oxidable que ce dernier à l'état liquide.

Pour faire un mélange de cuivre et de zinc, on commence

par fondre le cuivre jusqu'au *calme plat*. Ce point de fusion est assez difficile à observer, c'est l'habitude qui dirige; en général, le calme plat a lieu à la surface du bain peu après que les dernières parties du lingot solide ont été liquéfiées. Lorsqu'on laisse dépasser ce terme, une ébullition de plus en plus violente se manifeste et il se produit un grand déchet. Cette ébullition, que les fondeurs attribuent au soufre combiné qui se dégage, tient aussi beaucoup à une oxidation de la surface. Quoi qu'il en soit, lorsque le bain est au calme plat, on le recouvre d'une légère couche de poussier de charbon qui empêche l'action de l'air arrivant par la porte que l'on ouvre, et on plonge le zinc préalablement dégourdi, afin que le changement brusque de température n'occasionne pas d'accident. Comme il y a toujours une petite quantité de zinc qui se volatilise, on a soin d'en augmenter la dose dans la proportion de 5 à 6 p. 100 ; l'expérience, du reste, indique cela très-facilement, si on a soin de peser les matières avant et après la fusion.

2° *Bronze et métal de cloche.*

Il suffit pour ces mélanges de bien disséminer l'étain dans le cuivre, en les mettant ensemble dans le creuset, la proportion d'étain étant trop faible pour s'oxider. Ici, la parfaite réussite dépend entièrement de l'habileté de l'ouvrier, qui ne doit laisser le mélange dans le creuset que le temps nécessaire pour que la dissolution de l'étain dans le cuivre ait lieu uniformément. En effet, bien que l'étain soit peu oxidable, comme il est plus léger que le cuivre, il tend à remonter à la surface où, favorisé par le contact de l'air, il se vitrifie contre les parois du creuset et forme de petits globules vitreux que l'on retrouve ensuite dans le bronze quand on le met sur le tour, et qui non-seulement abîment les outils, mais rendent souvent les pièces impropres à l'usage auquel on les destinait. Le point de fusion du bronze est si peu facile à reconnaître exactement, qu'il n'existe qu'un seul fondeur à Paris, c'est presque dire en France, qui réussisse parfaitement ce métal; ce fondeur, c'est M. *Thiébaut* aîné, auquel les mécaniciens sont toujours obligés d'avoir recours lorsqu'ils veulent avoir des produits satisfaisants en cette matière.

3° *Maillechort.*

La fusion du maillechort est très-difficile, et, suivant

qu'elle a été bien ou mal opérée, le métal résultant a des propriétés tout-à-fait différentes. Cela provient de ce que le nickel n'est fusible qu'à une température de beaucoup supérieure à celle du cuivre.

Si on commence par faire le mélange de cuivre et zinc, et qu'on y plonge le nickel, ce dernier n'y fondra que quand la majeure partie du zinc aura été volatilisée. Si on fait l'alliage de nickel et cuivre de la même manière que celui de cuivre et zinc pour laiton, et qu'on y plonge le zinc, comme la température sera encore plus élévée que celle du cuivre pur, il n'entrera pas une parcelle de zinc dans le mélange. Voici comment, dans ce cas, on procède : on fait un mélange bien intime en poudre fine de 2 petites quantités de cuivre et nickel, et on met au feu ; quand le mélange est en fusion, on y plonge une quantité double au moins de zinc, et on ferme le creuset précipitamment ; les $^3/_4$ du zinc se volatilisent, mais il en reste assez dans ce mélange pour avoir abaissé la température ; on ajoute alors à petites doses, et successivement, du nickel, du cuivre et du zinc jusqu'à tant que l'on ait son alliage dans les proportions voulues ; afin d'opérer plus vite la fusion des métaux que l'on ajoute, on les maintient tant qu'ils sont solides au fond du bain avec une pince en fer.

Les déchets, dans la fonderie en cuivre, s'élèvent en moyenne à 10 p. 100, tant par l'oxidation des métaux que par les globules métalliques qui restent dans les pores des creusets, ou attachés par le refroidissement à leur surface intérieure. Un creuset peut servir plusieurs fois quand il est manœuvré avec soin, et plus il sert de fois, moins on a de déchets. Dans les usines où on coule de petites quantités de cuivre, on est dans l'usage de jeter les vieux creusets; mais dans celles organisées principalement pour la fonderie de cuivre, loin de les jeter, on les casse en morceaux, retire les parties qui ne contiennent pas de cuivre, et place les autres dans un mortier où elles sont broyées en poudre fine par un pilon mû par une poulie de renvoi venant de la machine soufflante. Quand les matières sont suffisamment broyées, on leur fait subir une opération analogue à celle des *patouillets* pour le minerai de fer; on les met dans un baquet au milieu duquel est une roue tournant horizontalement et recevant en outre un filet d'eau claire qui se renouvelle sans cesse. Les matières se classent dans le baquet par

ordre de densité, c'est-à-dire le métal au fond ; les matières terreuses qui surnagent sont entraînées par l'eau qui s'échappe constamment. On retraite ensuite ces cuivres dans un creuset, en y ajoutant un peu de charbon pour réduire les oxides, et on parvient à retirer comme cela près de 5 p. 100 sur les 10 p. 100 de déchets que l'on a faits, ce qui amène une économie très-sensible.

4° *Moulerie en terre.*

La moulerie en terre, ou fabrication des noyaux, constitue un atelier à part où les moulages s'exécutent avec de l'argile ne contenant pas de chaux, et assez riche en sable pour ne pas prendre un trop grand retrait par la dessiccation, mais pas assez pour n'en pas prendre du tout.

Les noyaux sont en argile parce que, étant des pièces isolées dans l'intérieur des moules et exposées de toutes parts au choc de la fonte liquide, ils doivent être doués d'une consistance supérieure à celle du sable argileux employé habituellement; de plus, la fonte retraitant par le refroidissement, comme elle entoure le noyau de toutes parts, il faut que ce dernier retraite aussi. Or, c'est précisément une des propriétés de l'argile que de prendre du retrait par la température; on a donc un double avantage en l'employant. Depuis quelque temps on remplace le sable dans les noyaux par de la farine de blé dans le but de faciliter encore le retrait de la fonte. En effet, lorsque l'on verse cette dernière dans le moule, il se produit une décomposition de la farine du noyau, dont les deux effets sont : 1° de refroidir, par évaporation de l'eau combinée, la fonte en contact; 2° de produire, dans le noyau, des vides qui le rendent spongieux, par conséquent compressible.

On distingue 2 espèces de noyaux, les noyaux moulés et les noyaux tournés. Les premiers se font dans la boîte à noyau par le procédé ordinaire du moulage des terres, et servent pour toutes les pièces à formes non cylindriques. Quand ces pièces sont irrégulières et présentent des coudés, on a soin de garnir l'intérieur du noyau de tirants en fer recourbé dans tous les sens, afin d'augmenter sa résistance à l'action de la coulée.

Lorsque les noyaux sont cylindriques, d'un diamètre d'au moins 5 centimètres et d'une longueur d'au moins 50 centimètres, on les fabrique par le procédé du tour, c'est-à-

dire au moyen d'un gabari qui leur donne la forme extérieure. Pour cela, on prend une barre de fer que l'on considère comme l'axe, et on la place horizontalement dans deux parties ménagées exprès sur deux tréteaux. Si le diamètre du noyau est moindre que 15 centimètres, le noyau est plein; s'il est d'au moins 15 centimètres, le noyau est vide, c'est-à-dire que la barre est entourée d'une enveloppe en tôle percée de trous et laissant au moins 5 millimètres de jeu entre elle et le noyau, ce, par les motifs suivants :

Pour faire tenir l'argile sur une barre de fer, on la mélange avec du foin qui lui donne du liant et sert à former ainsi les premières couches qui, une fois faites, rendent les autres très-faciles à poser en argile pure. Ce foin a l'avantage de rendre l'argile élastique et propre à prendre le retrait provenant du refroidissement de la fonte. Cela est bien pour des petits noyaux; mais quand le diamètre des noyaux commence à gagner 15 ou 20 centimètres, l'épaisseur de la couche d'argile à déposer augmente, et alors le temps que l'on passe à faire le noyau augmente dans la même proportion. Pour éviter cette perte de temps résultant de l'augmentation de dimensions des noyaux, on a imaginé d'entourer les axes de fer d'un tuyau qui, y étant fixé solidement, remplit les mêmes fonctions que lui par rapport au noyau. Cette disposition avait un grave inconvénient que l'on prévoit facilement; c'est que le retrait de la fonte étant proportionnel à son diamètre, il faut que celui de l'argile suive la même loi, et il ne le peut, si l'épaisseur de cette dernière est constante. Pour éluder cet inconvénient, on opère ainsi : on fait des tortillons de foin que l'on enroule sur le nouvel axe en tôle, et par-dessus les tortillons on dépose les diverses couches d'argile comme d'ordinaire. Le foin, dans cet état, est élastique, se prête parfaitement au retrait de la fonte, et cela d'autant mieux qu'il brûle et dégage des gaz pour l'échappement desquels sont pratiqués les trous dans la tôle, et la communication facile de ces trous avec l'air extérieur.

La moulerie en terre possède un séchoir pour les noyaux. Ce séchoir, ainsi que celui de la grande fonderie, sont des chambres en briques fermant par une porte en tôle, et dans la partie inférieure desquelles sont des foyers à houille dont la fumée se dégage dans le séchoir même et va se perdre dans une cheminée placée à l'extrémité opposée à celle des foyers.

L'espace occupé par un mouleur en terre, y compris la place de ses noyaux, le dépôt de l'argile et le séchoir, est en moyenne de 50 mètres quarrés. Ce grand espace provient de ce qu'il se fabrique toujours un grand nombre de noyaux à la fois; ces derniers ayant besoin d'un léger séchage à chaque couche d'argile qu'on leur applique.

Administration de la fonderie.

Les quatre spécialités de la fonderie sont régies par un contre-maître unique qui, à la surveillance spéciale de son état, joint la comptabilité suivante :

1° Livre des journées des ouvriers dans chaque spécialité séparée ;

2° Livre de comptabilité des matières premières et des produits en fontes moulées quelconques ;

3° Livre des modèles à mouler et moulés.

Les deux premiers livres se comprennent sans explication; quant au troisième, il nécessite, entre le chef de la fonderie et celui des modeleurs, des fonctions relatives que nous allons déterminer.

Lorsqu'un dessin ou une commande de fonte moulée arrive à la fonderie, il faut que les deux contre-maîtres soient prévenus à la fois, soit par le porteur de la commande, soit l'un par l'autre, sans quoi cette dernière ne recevrait au plus qu'une demi-exécution. Si on porte la commande chez les modeleurs, ces derniers exécutent le modèle, et on prévient la fonderie quand il est prêt. Mais il arrive le plus souvent que la fonderie ou n'a pas besoin de modèles, ou en veut un autre que celui qu'on lui propose, par suite de considérations pratiques dépendant de la qualité de la fonte, des quantités de fonte qu'on se propose de couler à la fois, de l'absence ou de la présence de certains ouvriers à travail déterminé, etc. Pour toutes ces raisons, le contre-maître de la fonderie en est réduit à inscrire la commande, comme le contre-maître des modeleurs, afin de se la rappeler quand il sera à même de l'exécuter.

Si on fait la commande à la fonderie, au contraire, elle n'a besoin d'être inscrite qu'une seule fois et débarrasse le contre-maître des modeleurs d'une comptabilité qui l'importune et n'est pas généralement dans ses habitudes. Par cette raison, nous pensons que le contre-maître de la fonderie doit être chef suprême, d'autant plus que cela présente

l'avantage, pour le constructeur, de faire retomber la responsabilité des modèles sur une personne autre que celle qui les exécute, et de créer par là une vérification qui n'aurait pas lieu autrement.

Ainsi, suivant nous, le contre-maître de la fonderie est le supérieur du contre-maître des modeleurs, et responsable de la besogne de ce dernier.

Le livre des moulgaes se divise alors ainsi :

1° Inscription des commandes par articles et indication du nombre des pièces à couler.

2° Commande des modèles à l'atelier des modeleurs.

3° Pièces coulées, et nombre de ces pièces avec date du mois et de l'année.

La 2e colonne se remplit par une croix placée devant chaque pièce, ou tout autre signe particulier ; le contre-maître des modeleurs reçoit les dessins ou la commande et prépare les modèles dans une partie de son magasin, ménagée à cet effet. Tantôt il les exécute, tantôt il fait servir d'anciens modèles, ce qui nécessite chez lui une connaissance parfaite de tout ce qu'il possède dans son magasin.

La 3e colonne ne se remplit que quand les pièces ont été démoulées, désablées, pesées et reconnues bonnes par le contre-maître de la fonderie. Le pesage des fontes s'opère en général sur une balance-bascule, placée sur les chemins de fer qui sillonnent la cour de la fonderie, et le plus près possible du cabinet du contre-maître, qui inscrit lui-même les résultats de la balance. On a un wagon exprès pour le transport des pièces à peser. Pour les petites pièces, telles que celles sortant de la fonderie en cuivre, on a une balance ordinaire.

Le dépôt des fontes brutes, ainsi que des fontes moulées, se fait généralement dans la cour de la fonderie à côté des châssis, le peu de valeur des objets et leur poids n'étant pas susceptibles de tenter la cupidité des voleurs. Il n'en est pas de même du cuivre et de ses alliages, que l'on dépose brut ou moulé dans un magasin spécial fermant bien et placé près du cabinet du contre-maître de la fonderie.

Les pièces manquées retournent au four à réverbère ou au cubilot, en mélange avec de nouvelles fontes et des bocages. Comme ces pièces ont généralement des dimensions qui ne leur permettent pas d'entrer dans les fours, on les casse, et à cet effet on a au milieu de la cour de la fonderie un trois-mâts,

au moyen duquel on élève à une certaine hauteur une masse de fonte qui, en tombant sur les pièces disposées au-dessous, les brise en morceaux. Le montage de cette masse s'effectue par une poulie suspendue à l'extrémité du trois-mâts et un treuil placé au bas. Quand elle est arrivée à une hauteur suffisante, on fait lâcher le point d'attache, comme dans les moutons ordinaires. Le trois-mâts est muni d'un paratonnerre, objet indispensable dans une usine où il y a tant de matières qui attirent le fluide électrique.

Nous terminerons ce qui est relatif à la fonderie par un compte de revient de 1,000 kilog. de fonte moulée, déduit du travail de plusieurs années dans une usine fonctionnant en grand, tant en sable d'étuve qu'en sable vert.

Pour 1,000 kilog. fonte moulée :

1100 kilog. fonte brute et bocages.	243f65
hectolitres.	
9.65 houille à 0f55.	5.31
8.00 coke. . à 0.55.	4.38
0.11 castine à 0.80.	0.09
3.33 sable de moulage à 0.60.	2.00
Service de la cour de la fonderie.	2.08
Frais généraux.	5.55
Fournitures du magasin.	5.74
Main-d'œuvre : maçons pour fours.	0.35
Réparations d'outils.	0.68
Ajustage.	0.37
Forgerons.	0.05
Mouleurs.	34.31
Surveillance.	1.48
	306.04
Si nous ajoutons 1/40 pour les frais de modèle, nous obtenons.	7.50
Total.	313.54

Dans ce compte de revient, la houille entre pour 9.65 × 80 k. = 720 k., et le coke 8 × 40 = 320 k. : total 1,040 kil., c'est-à-dire plus de 100 p. 100 en combustible. Il est bon de faire remarquer que cette dépense n'est pas seulement pour les fours, mais se répartit aussi sur les séchoirs,

le chauffage intérieur et les pièces manquées dont il n'est tenu ici aucun compte. On peut donc admettre que pour 1 de fonte de deuxième fusion il faut 1 de combustible.

§ 3. *Chaudronnerie.*

La chaudronnerie est l'atelier où se confectionnent les chaudières à vapeur.

Une chaudière à vapeur est un vase fermé, ne donnant issue à l'eau et à la vapeur qu'il renferme que par des orifices déterminés, à parois d'une tenacité suffisante pour résister aux pressions qui se manifestent dans son intérieur, aussi conducteur que possible de la chaleur dans les parties en contact avec le feu.

Pour ces divers motifs, une chaudière à vapeur est un vase en métal, et d'après les propriétés des métaux exposées dans le premier chapitre, les seuls qui puissent être présentés sont : le cuivre, le fer, la fonte.

Pendant longtemps on a employé la fonte à cause de son prix de revient peu élevé. Mais l'inconvénient qu'elle présente de se rompre par refroidissement trop brusque, résultant d'une alimentation intermittente, ou d'une élévation de température trop prompte, y a fait renoncer. On n'emploie plus aujourd'hui que la tôle de fer pour machines fixes, et la tôle de fer jointe à celle de cuivre, pour locomotives; le cuivre figurant dans toutes les parties en contact avec le feu, par suite de sa propriété d'exiger une moindre surface que le fer pour transmettre une quantité de chaleur donnée, et aussi par suite de sa plus grande résistance à l'action destructive des gaz qui s'échappent du foyer.

Il existe une infinité de formes de chaudières à vapeur, quand la pression qui se manifeste dans leur intérieur est égale à celle de l'extérieur; mais si la presion intérieure est supérieure à cette dernière, alors les formes des chaudières se réduisent à deux seulement : le cylindre à base circulaire et la sphère.

Il y aurait bien encore le cône à base circulaire, mais on ne l'emploie pas.

Les propriétés du cylindre et de la sphère que l'on met à profit dans ce cas, ne sont autres que celles du cercle que nous allons examiner :

Soit un cercle (fig. 22, Pl. IX) dont le centre est *o*, le rayon *r*; si nous supposons tous les points de la circonfé-

rence soumis à une pression intérieure égale pour tous, cette circonférence ne se déformera pas, elle ne pourra que se briser si sa résistance n'est pas suffisante. Pour calculer cette résistance, il faut connaître la valeur exacte de la pression sur un point déterminé.

Soit A B, un diamètre, et, supposant tous les autres points d'une résistance indéfinie, cherchons la force de traction qui s'opérera en chacun des points A et B, pour séparer le cercle en deux parties.

Chaque élément $m\,m'$ de la circonférence est soumis à une force normale P dont l'action par rapport aux points A et B se décompose en deux, l'uns parallèle, l'autre perpendiculaire à A B; la force parallèle à A B n'a aucune influence; mais la force perpendiculaire se décompose en deux parallèles placées en A et B et agissant par conséquent sur ces points. Soit p cette composante de P perpendiculaire à A B, et formons le parallélogramme des forces; par les triangles semblables, nous aurons :

$$P : p :: mm' : mi.$$

Donc, si mm' représente en ligne la force P, sa composante p sera représentée par la projection nn' sur le diamètre A B. Il en sera de même pour tous les autres éléments de la circonférence, et la pression perpendiculaire à A B, agissant de chaque côté de cette ligne, et tendant à séparer la circonférence en deux parties égales, est à la pression totale exercée sur une demi-circonférence comme le diamètre est à la demi-circonférence ou $:: 1 : 1.571$. Si nous représentons par P la pression sur l'unité de longueur, la pression sur la demi-circonférence A $m\,m'$ B sera $P \times 1.571 \times 2r$, et celle pour les deux points, A et B, $P \times 2r$, d'où, pour chaque, $P \times r$; en appelant F cette force, on aura :

$$F = P \times r.$$

La force qui tend à séparer le cercle en deux parties est proportionnelle à la pression intérieure et au rayon du cercle.

Passant du cercle au cylindre en tôle, considérons une longueur suivant l'axe, égale seulement à 1 centimètre, et appelons e l'épaisseur du métal, R sa résistance à la traction

par centimètre quarré de section, P la pression de la vapeur sur un centimètre quarré de surface, on aura :

$$Pr = e \times R \times 1 \text{c. m.}$$

d'où:
$$e = \frac{rP}{R}.$$

La résistance maxima de la tôle de fer dans le sens du laminage est 4.000 k. par centimètre quarré de section; pour le cuivre rouge, cette résistance est 2.000 k. et pour le cuivre jaune 1.250 k. Pour obtenir e on exprimera r en centimètres et P en kilog., puis on substituera ces différentes valeurs de R, suivant le métal que l'on emploiera.

La résistance du métal dans le sens de l'axe s'obtient en remarquant que, quelle que soit la forme du fond, la pression qu'il supporte est la même que si elle était plane, et par conséquent égale à $\pi r^2 \times P$. Cette pression se répartit sur tous les points d'une même circonférence; donc, pour avoir la pression en un point, il suffit de diviser cette expression par $2 \pi r$, ce qui donnera :

$$\text{Pression longitudinale} = \frac{rP}{2},$$

c'est-à-dire, moitié de la pression transversale; d'où on déduit que, pour une sphère, l'épaisseur totale peut être moitié de celle du cylindre.

Comme les feuilles de tôle ont une résistance à la traction plus grande dans le sens du laminage que dans l'autre, on a soin de les placer dans les chaudières de manière que le sens du laminage résiste à la plus forte pression, c'est-à-dire, soit perpendiculaire à l'axe.

L'épaisseur théorique des tôles, celle au milieu d'une feuille, étant déterminée, il faut, pour déterminer l'épaisseur sur les bords, avoir égard au mode d'assemblage des feuilles entre elles; or, voici comment il s'opère. On superpose les bords de deux feuilles voisines, les perce de trous correspondants, et les traverse simultanément de boulons, appelés *rivets*, posés à chaud et rivés ensuite, de manière à présenter deux têtes entre lesquelles sont maintenues les feuilles de tôle d'une manière invariable.

Ce mode d'assemblage, comme on le voit, répartit toute

la pression, qui se manifeste sur une longueur donnée, entre un nombre de points déterminés.

Soient deux feuilles de tôle assemblées par des rivets, l la largeur AB, (Pl. IX, fig. 23) de ces feuilles, e leur épaisseur, R la résistance par centimètre quarré de section; la résistance suivant A B sera..... $le \times$ R.

Si nous traversons les rivets par une ligne A'B' passant par leurs centres, et que la somme de leurs diamètres soit $\frac{l}{n}$, n étant un nombre entier ou fractionnaire, la section résistante de la feuille suivant A'B' sera :

$$e\left(l-\frac{l}{n}\right)=e\,l\times\frac{n-1}{n},$$

et la résistance : $$\mathrm{R}\,e\,l\,\frac{n-1}{n}$$

Or, l'épaisseur e a été calculée pour une résistance donnée suivant la largeur l; il faut donc qu'en A'B' la résistance soit la même qu'en A B. Pour cela, il suffit d'augmenter la section pleine d'une quantité égale à la section vide.

La section des trous des rivets est $\frac{l}{n}\times e$; la section pleine, à cet endroit, est $\frac{n-1}{n}\,l\times e$. Si e' représente la nouvelle épaisseur à ajouter, on aura :

$$e'\times l\,\frac{n-1}{n}=\frac{l}{n}\,e;$$

d'où : $$e'=\frac{e}{n-1},$$

et l'épaisseur totale de la tôle sera :

$$E = e + e' = \frac{n}{n-1} e. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Telle est l'épaisseur pratique que l'on donne généralement aux feuilles de tôle, parce qu'on les fait partout d'une égale épaisseur. Dans cette expression, n est inconnu et dépend du diamètre et de l'espacement des rivets.

Pour déterminer ces deux quantités, nous remarquerons que les rivets sont exposés à un effort de traction dans le sens de leur longueur, et que si on représente par l la longueur ab, dont la pression se reporte sur le rivet c, et par d le diamètre de ce rivet, on aura :

$$0.785\, d^2 \times R = le \times R,$$

c'est-à-dire que les résistances étant égales, les sections doivent être aussi égales entre elles, ce qui donne :

$$d^2 = \frac{le}{0.785} = \frac{n-1}{n \times 0.785}\, l\, E. \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Les têtes des rivets ont un diamètre double de leur corps; de plus, les têtes sont espacées entre elles d'un demi-diamètre, afin qu'on puisse les façonner plus facilement; nous avons donc entre a et b :

$$\left.\begin{array}{lr} 1^o. \ldots\ldots & d \\ 2^o. \ldots\ldots & d \\ 3^o. \ldots\ldots & 0{\cdot}5\, d \end{array}\right\} \text{total } 2.5\, d;$$

$$\text{donc } l = 2.5\, d, \text{ mais } d = \frac{l}{n}, \text{ donc } n = 2.5.$$

Substituant toutes ces valeurs dans l'équation (2), nous aurons :

$$d^2 = \frac{1.5}{2.5 \times 0.785} 2.5\, d \times E;$$

$$\text{d'où : } \quad d = 1.90\, E \text{ et } E = \frac{2.5}{1.5} e = 1.66\, e.$$

On fait généralement le diamètre des rivets double de l'épaisseur des feuilles, d'où suit que l'espacement entre les centres des rivets est 2.5 *d*, ou cinq fois l'épaisseur de la tôle.

Pour déterminer de combien les feuilles doivent saillir en dehors des rivets, il suffit de décrire du point *c*, comme centre avec *ac* pour rayon, une demi-circonférence. La section de la tôle autour de ce rivet étant constante, si la section *ca* est suffisamment résistante, les autres le seront aussi; donc la saillie des feuilles de tôle en dehors des rivets sera moitié de leur espacement. Les mêmes choses ont lieu pour la feuille de dessous, et la place occupée par un rivet est un carré dont le côté est égal à cinq fois l'épaisseur de la tôle.

Partant de ces données, nous diviserons le travail de la chaudronnerie en six opérations distinctes, qui sont :

1° Apprêtage des feuilles; 2° courbage; 3° découpage des bavures; 4° perçage; 5° assemblage; 6° parage.

1° *Apprêtage des feuilles.* Cette opération consiste à découper les feuilles suivant la forme plane développée correspondante qu'elles auront en place. Lorsque les feuilles doivent servir pour des surfaces cylindriques ou planes, ce découpage se fait exactement et une fois pour toutes; si, au contraire, elles doivent servir pour des formes sphériques, ce découpage n'est qu'un enlèvement de la partie de la feuille qui est bien connue comme ne devant pas servir, parce qu'on ignore quelle portion exacte de la feuille on emploiera.

2° *Courbage des feuilles.* Lorsque les feuilles sont destinées à faire partie d'une surface cylindrique, sphérique, ou toute autre non plane, il faut leur communiquer la forme de ces surfaces. On coule, à cet effet, des moules en fonte affectant soit la forme concave, soit la forme convexe des feuilles, et on bat ces dernières dessus jusqu'à tant qu'elles coïncident parfaitement avec ces moules dans toute leur étendue. Si la tôle employée est du cuivre, l'opération a lieu à froid ; si c'est du fer, l'opération a lieu à chaud et nécessite l'adjonction d'un four à réchauffer les tôles.

3° *Découpage des bavures.* Quand les feuilles ont été courbées, on les assemble par portions et détermine ainsi les parties à enlever pour qu'elles ne conservent que la dimension exacte qui leur est nécessaire. Alors on les découpe à la

cisaille aussi exactement que possible, et afin que les petites bavures restantes ne blessent pas les ouvriers dans la manœuvre des feuilles on leur donne un coup de lime sur l'étau.

4° *Perçage des feuilles*. Quand les feuilles, posées les unes à côté des autres, occupent bien la place qu'on leur a assignée, on procède au perçage des trous des rivets qui doivent servir à leur assemblage. Pour cela, on a une machine spécialement destinée à percer la tôle, et enlevant la place du rivet d'un seul coup de balancier, au moyen d'un *poinçon* en acier d'un diamètre égal à celui des rivets, forçant la partie de la tôle placée dessous à entrer dans une *mortaise* exactement égale à sa section.

5° *Assemblage des feuilles*. Quand les feuilles sont percées, on les assemble provisoirement par des boulons à clavette, posés de distance en distance, pour les maintenir dans la position qu'elles doivent occuper; ensuite on procède au posage des rivets. Pour cela il faut deux ouvriers chaudronniers et deux manœuvres, qui peuvent être des enfants. Le premier manœuvre chauffe les rivets dans un foyer de forge ordinaire, généralement mobile, afin de pouvoir faire cette opération près de la chaudière en construction, et passe ces rivets un à un, chauffés au rouge, au second manœuvre, qui est dans la chaudière. Ce dernier les place dans les trous qu'on lui indique, et les y maintient la tête serrée contre la feuille inférieure, au moyen d'un levier dont il tient le grand bras par son extrémité. Quand le rivet est passé, les ouvriers, armés de marteaux appelés *mattoirs*, frappent d'abord debout pour lui faire prendre la forme intérieure du trou, puis ensuite tout autour à 45°, de manière à lui faire une tête conique à base circulaire d'un diamètre double de celui du corps du rivet.

6° *Parage*. Cette opération a pour but non-seulement de faire disparaître les imperfections du travail, mais encore de resserrer les points de jonction entre les feuilles. Pour cela, on pose sur les rivets un ciseau à *taillant* arrondi sur une circonférence égale à la base du cône et se terminant intérieurement comme ce cône; puis on frappe dessus assez fortement en le promenant sur toute la circonférence de la base de la tête du rivet, jusqu'à ce que l'on ait obtenu autour une petite rigole bien exacte, indiquant que toutes les bavures sont parties, et faisant disparaître d'une manière

inappréciable à l'œil la ligne de jonction entre le rivet et la tôle. Quand on a fait cette opération sur les rivets, on la répète, avec un ciseau droit, sur les bords de la tôle, aux lignes de jonction des plaques.

Il existe une septième opération, que nous ne classons pas dans le travail du chaudronnier, bien qu'en dépendant, parce qu'elle est toute chimique. Cette opération consiste à oxider toutes les parties de tôle ou rivets qui forment joint, afin d'augmenter, par l'addition d'oxigène, le volume occupé par ces parties, et par conséquent remplir tous les vides qui peuvent exister entre les joints. Pour arriver à ce résultat, on est obligé d'oxider toute la surface des chaudières, tant intérieurement qu'extérieurement; on verse dans l'intérieur une dissolution de matière plus oxidante que l'eau pure, et qui n'est autre chose que de l'*urine;* puis, pour l'extérieur, on se contente de la laisser exposée à la pluie pendant quelque temps.

On compte dans la chaudronnerie un espace de 50 mètres quarrés par ouvrier. Cet atelier consiste généralement en une cour plus ou moins grande, auprès de laquelle est un vaste hangar sous lequel se confectionnent les chaudières et où sont placées les machines employées par les ouvriers. Ces machines, qui sont la *cisaille* et le *perçoir*, sont mues soit à bras d'hommes, soit par une machine à vapeur spéciale ou une transmission de mouvement venant d'un des ateliers voisins; on compte pour chacune d'elles deux chevaux de force.

Administration.

Le travail de la chaudronnerie est le plus facile à évaluer au kilogramme, parce que les épaisseurs des tôles sont très-peu variables, et que le genre de travail est presque constamment le même; aussi ce travail se fait-il le plus généralement à l'entreprise par un contre-maître portant le nom de *maître chaudronnier*.

L'épaisseur des tôles dépend uniquement de la pression intérieure que les chaudières auront à supporter. La résistance qu'elles offrent à cette pression n'est pas la même à chaud qu'à froid; elle est tellement moindre à chaud, que les ordonnances royales sur les appareils à vapeur ont primitivement prescrit que les épreuves à la presse hydraulique se feraient sous une pression quintuple de celle sous laquelle les chaudières étaient destinées à marcher; depuis,

on a réduit la pression d'épreuve au triple pour les chaudières ordinaires, et au double seulement pour les locomotives, à cause des jonctions des tubes intérieurs.

Si nous recherchons quelles doivent être les épaisseurs pour une pression de 5 atmosphères intérieures, et différents diamètres, en admettant l'épreuve sous une pression triple, nous avons :

1° Pression sur un centimètre quarré $= 1\text{k}.033 \times 4 \times 3 = 12\text{k}.40$.

2° $$e = \frac{r\,P}{R} = \frac{r \times 12.4}{R}$$

R = 4000 k. par centimètre quarré pour le moment de la rupture ; généralement on ne fait supporter aux métaux que le $^1/_3$ et même le $^1/_4$ de la résistance qui les fait rompre ; admettant R = 1000, nous aurons :

$$e = 0.0124\, r \text{ et } E = 1.66\, e = 0.0205\, r.$$

		m.m.	m.m.
d'où : pour r =	25 c. m.	e = 3.1	d'où E = 5.1
	30	3.7	6.2
	35	4.3	7.2
	40	5.0	8.2
	45	5.6	9.2
	50	6.2	10.2
	etc.		

En pratique on augmente ces épaisseurs pour se conformer aux ordonnances royales qui tiennent compte, par une augmentation constante de 3 millimètres, des défectuosités imprévues qui peuvent se rencontrer dans le métal ; ainsi elles donnent :

		m. m.	
Pour r =	25 cent. mètres E′ =	6.6	= 2.14 e
	30	7.3	1.98 *id.*
	35	8.1	1.89 *id.*
	40	8.8	1.76 *id.*
	45	9.5	1.70 *id.*
	50	10.2	1.66 *id.*
	etc.		

Épaisseur qui va sans cesse se rapprochant de E à mesure que r augmente. Ces valeurs de E' ont été calculées par la formule : $E' = \frac{36\,r\,(n-1) + 3000}{1000}$; n étant le nombre d'atmosphères.

Les mêmes calculs pourraient s'appliquer au cuivre rouge et au laiton ; mais comme dans les locomotives on ne les expose pas au même genre de résistance que la tôle de fer, ce calcul serait inutile ici.

L'épaisseur la plus généralement employée, tant par suite des ordonnances que parce qu'elle convient le mieux au travail, est 4 lignes ou 9 millimètres. Dans ce cas, supposant qu'un bon ouvrier chaudronnier doit gagner de 5 à 6 francs par jour, le prix payé à l'entreprise au chef est 20 francs les 100 kilog. en moyenne. Si les chaudières n'offrent que des assemblages cylindriques, ce prix peut descendre jusqu'à 13 francs. Si, au contraire, les chaudières sont compliquées, à foyers et conduits de cheminées intérieurs, ce prix peut monter jusqu'à 30 et 35 francs.

Pour chaudières de locomotives pesant 5,000 k. dont 2.000 k. cuivre et 3.000 k. fer, on a payé à l'entreprise, tous matériaux fournis par le maître chaudronnier, 12,500 fr.

En supposant le cuivre à 3 fr. le kilog. laminé brut, et la tôle de fer à 1 fr., parce qu'elle est de première qualité, on a :

2000 kilog. cuivre à 3 fr. . .	6000 fr.
3000 kilog. fer à 1 fr. . .	3000
Total.	9000 fr.

12500 — 9000 = 3500 fr. pour la main-d'œuvre, c'est-à-dire $\frac{3500}{50}$ = 70 fr. les 100 kilog. Il est vrai que ceci date déjà de quelques mois, et aujourd'hui on peut évaluer la main-d'œuvre, pour locomotives, parfaitement exécutée, à 50 fr. les 100 kilog.

§ 4. *Ajustage.*

On comprend, sous la dénomination générale d'*ajustage*,

un certain nombre d'opérations mécaniques, toutes différentes les unes des autres, et ayant pour but commun de convertir le fer et la fonte, dits bruts de forge et de fonderie, en pièces de machines finies et prêtes à subir l'opération du montage.

Les opérations mécaniques de l'ajustage, classées par ordre d'application aux pièces, sont :

1° Le tournage;
2° L'alésage;
3° Le rabotage;
4° Le forage;
5° Le taraudage;
6° Le parage ou mortaisage;
7° Le finissage ou ajustage proprement dit.

Les pièces ne subissent généralement pas toutes ces opérations; suivant qu'elles doivent passer par une ou plusieurs d'entre elles, il est bon de se conformer à l'ordre que nous indiquons ici pour raisons que nous développerons en étudiant chaque opération successivement.

Avant d'entrer dans le détail de chacune de ces sept opérations, nous dirons :

Le *tournage* a pour but d'arrondir la forme extérieure d'une pièce.

L'*alésage* a pour but d'agrandir exactement un trou rond déjà préparé dans une pièce, soit à la forge, soit à la fonderie.

Le *rabotage* a pour but d'aplanir une face.

Le *forage* diffère de l'alésage en ce que le trou n'est pas préparé et se fait tout entier par cette opération. Le forage s'opère pour les trous au-dessous de 30 millimètres et pour ce dernier diamètre; au-dessus de 30 millimètres, le trou est préparé, et alors c'est à l'alésoir qu'il se termine.

Le *taraudage* a pour but d'imprimer un filet de vis soit à l'extérieur d'une pièce ronde, soit à l'intérieur d'un trou foré. Le taraudage comprend donc deux opérations, dont la première se nomme *filetage*, et la seconde *taraudage* proprement dit.

Le *parage* a pour but d'exécuter toutes les faces cylindriques à base circulaire. Lorsque la circonférence de la base se convertit en une ligne droite, la face est plane, et alors la pièce devrait appartenir à la machine à raboter; mais il est des faces planes qui ne peuvent être rabotées;

ce sont celles qui existent dans l'intérieur des pièces et qui sont généralement des *mortaises*. Ces dernières se font à la machine à parer. On emploie encore avec avantage cette machine à découper de la tôle, suivant un dessin tracé, opération que ne peut exécuter la cisaille d'une manière satisfaisante, parce qu'elle est essentiellement faite pour les lignes droites. La machine à parer, dans ce cas, n'est à proprement parler, qu'une cisaille dont le taillant est très-court.

Le *finissage*, ou ajustage proprement dit, est le dernier coup de main que l'on donne aux pièces pour enlever tout ce que les outils n'ont pu prendre, et pour polir. Cette opération est d'autant moindre que les pièces ont été conçues avec plus de connaissance du travail auquel on peut les soumettre dans les machines, pour les exécuter.

1° *Tournage.*

Lorsqu'une pièce, entre autres opérations, doit subir celle du tournage, c'est par cette dernière qu'il faut commencer, pour les raisons suivantes :

Toute pièce sortant de la forge est rarement destinée à être alésée, parce que, en général, le fer s'emploie pour résister à la traction, et ne constitue, par conséquent, que des tirants dont les formes varient à l'infini. Les trous qui se rencontrent donc généralement dans le fer sont des trous de charnières ne dépassant pas 50 millimètres. Il suit de là que l'on n'est pas dans l'usage à la forge de préparer les trous, et on les laisse pleins. On ne fait usage de mandrins que pour les trous très-longs ou au-dessus de 50 millimètres.

De là, lorsqu'une pièce passe de la *forge* à l'ajustage, si elle a un trou à percer au centre d'une partie ronde, on commence par la tourner afin d'être sûr que, quand elle sera terminée, elle ne conservera pas de places qui n'auront pas été atteintes par l'outil, et qui, se détachant en un creux noir, nuisent beaucoup à l'apparence d'une pièce finie. Ajoutons en outre qu'il est beaucoup plus difficile de centrer une pièce sur le tour, d'après le diamètre intérieur, que de la percer au centre d'après le diamètre extérieur.

Toute pièce sortant de la *fonderie*, et devant subir l'alésage ainsi que le tournage, est aussi tournée en premier lieu, parce que c'est d'après la forme extérieure de la pièce que l'on se règle pour trouver son centre, et non d'après le trou du noyau qui a pu être dérangé pendant la coulée.

Or, une pièce qui doit être tournée ne peut être centrée par l'aléseur, parce qu'il ne connaît pas les défauts extérieurs des pièces comme le tourneur, et le plus ou moins de déviations que l'on doit faire éprouver à ce centre, suivant ces défauts.

Puisque les pièces doivent être centrées par le tourneur, il vaut donc mieux, pour l'économie de transport, que le tourneur fasse en même temps tout ce qu'il y a à y faire; c'est pourquoi le tournage précède l'alésage.

Par suite des déviations que le tourneur fait éprouver au centre des pièces, suivant les défauts extérieurs qu'il faut faire disparaître, on est en usage de donner aux noyaux un diamètre beaucoup plus petit que celui du trou, quand il sera alésé. Cette précaution n'a pas lieu quand la pièce n'a pas besoin d'être tournée, et, dans ce cas, on ne donne que de 5 millimètres à 1 centimètre à mordre à l'alésoir, suivant les diamètres.

Le tournage précède le rabotage, parce que, quand il y a du tour dans une pièce, c'est qu'elle a un axe, et cet axe ne sera bien déterminé que par l'ouvrier dont le métier est de centrer des pièces.

Pour le taraudage, il suffit de dire que le tour et le foret sont les opérations préparatoires du filetage et du taraudage.

Pour le parage, nous dirons que quand il est réuni au tour, c'est, en général, pour terminer des ronds que ce dernier outil ne peut faire par suite de liaisons de ronds avec des faces perpendiculaires à leur axe, comme dans les leviers, les fourchettes, etc. Il suit donc de là que l'on doit commencer par le tour, et ce, avec d'autant plus d'avantage qu'il trace la besogne de l'autre outil.

Il existe deux modes de tournage, le tournage à la main et le tournage à la mécanique. Ces deux modes diffèrent entre eux par la manière de porter l'outil qui entaille la pièce. Dans le premier cas, c'est l'ouvrier *tourneur* qui soutient, manœuvre et dirige l'outil; dans le deuxième cas, c'est un appareil spécial qui le soutient et le manœuvre, et l'ouvrier qui le dirige seulement.

L'avantage du second tour sur le premier est de confier à des forces inébranlables toute la partie dure du travail, et de ne laisser à l'ouvrier que la partie intelligente.

On divise les tours en trois espèces distinctes : le tour à crochet, le tour parallèle, le gros tour.

Le tour à crochet est celui dans lequel l'outil est tout entier entre les mains de l'ouvrier. Ce tour se compose essentiellement d'un arbre en fer supporté par ses extrémités dans deux *collets* faisant partie d'une même pièce appelée *poupée* qui se fixe à une table en fonte appelée *banc de tour*. Sur l'arbre, entre les deux collets, est une poulie à cinq diamètres, en fonte creuse, correspondant, par une courroie en cuir, à une autre de la même forme, placée le plus près possible du plafond et en sens inverse de la première. Cette seconde poulie est sur un arbre placé entre deux supports, à côté de deux autres poulies à un seul diamètre, égales, et dont l'une est *folle* sur l'arbre. Ces deux poulies communiquent, l'une ou l'autre à volonté, avec une troisième placée sur un arbre régnant dans toute la longueur de l'atelier, et transmettant le mouvement à toutes les machines; suivant que la courroie est sur la poulie folle ou la poulie fixe, le tour est en mouvement de rotation ou en repos.

Outre les cinq diamètres que l'on donne aux poulies de la poupée, pour varier la vitesse, on ajoute encore deux pignons et deux roues d'engrenage, fonctionnant à volonté, et dont l'effet est de produire des vitesses moitié des cinq que l'on a déjà, ce qui fait en tout dix vitesses.

A l'une des extrémités de l'arbre du tour, en dehors de la poupée, est un pas de vis extérieur pouvant recevoir un *mandrin* ou *emprunt*, et un trou quarré pouvant recevoir une *pointe*.

L'*emprunt* est un outil destiné à saisir assez fortement toutes les pièces qu'on lui présente pour permettre au tourneur de travailler dessus, sans craindre qu'elles se dérangent. Cet outil s'emploie généralement pour les pièces dont la longueur n'excède pas ou n'excède que de fort peu leur diamètre.

Lorsque les pièces sont longues, comme les tiges, etc., on les met entre deux pointes : la première placée dans le trou quarré de l'arbre du tour; la seconde, placée dans un support particulier, mobile inférieurement sur le banc de tour dans une *coulisse* parallèle à l'axe du tour. Au milieu de cette coulisse est généralement la projection horizontale de cet axe. Ce support, ainsi que la poupée, se fixe à volonté sur le banc au moyen d'un boulon traversant la coulisse et serrant par un écrou en dessous. Pour faire tourner la pièce à travailler avec l'arbre, on la saisit dans un *dog*, mot an-

Pour roues de locomotives à trois cercles superposés et 1m. 70 de diamètre, on a payé jusqu'à 60 fr. la roue, ce qui correspond à 20 fr. le cercle de 0m. 20 de large, y compris les faces planes, ou 100 f. le mètre courant. Aujourd'hui on peut évaluer ce travail à la moitié, et comme les roues n'ont plus que deux cercles et se tournent la deuxième fois avec l'essieu, on peut évaluer le travail total du tour, pour les roues travailleuses et l'essieu coudé, à 100 f., y compris le tournage des coudes de l'essieu qui se fait avant l'assemblage.

L'espace occupé par un tour à crochet est 3m de long sur 3 de large ou 10 mètres q.

Pour un tour parallèle en moyenne, 6 mètres de long sur 3 mètres de large, ou 20 mètres quarrés.

Pour un gros tour de roues et essieu, 4 mètres de long sur 6 de large, ou 25 mètres quarrés.

2° *Alésage*.

L'alésage précède le rabotage, le parage et le taraudage, parce que, comme le tour, il a la propriété de centrer une pièce, c'est-à-dire lui donner un axe qui sert de guide pour les opérations subséquentes. Ainsi, l'alésage est uni au rabotage dans les cylindres à vapeur où le rabot fait la plate-forme du tiroir qui doit être parallèle à l'axe. Pour faire cette plate-forme, il faut donc d'abord avoir l'axe, et le tour n'y étant pour rien, c'est l'alésage qui le détermine.

L'alésage, avons-nous dit, a pour but d'agrandir un trou rond; ce trou peut être cylindrique ou conique; dans les deux cas, la machine employée est la même, mais l'outil est différent, ainsi que son mode d'action. Dans l'alésage cylindrique, l'outil avance suivant l'axe du trou en se maintenant dans un cercle qu'il a tracé dès son premier tour; dans l'alésage conique au contraire, l'outil avance non-seulement suivant l'axe, mais encore perpendiculairement à l'axe, en agrandissant sans cesse le travail qu'il a déjà effectué. Il s'ensuit que le premier outil n'agit que par une de ses extrémités, tandis que l'autre agit sur une longueur, croissant avec la profondeur du trou, et doit par conséquent avoir la même longueur que le trou à aléser.

La machine dont on se sert pour aléser se nomme *alésoir* et se compose essentiellement d'une tige en fer ronde, portée dans deux supports fixes dans lesquels elle a la faculté non-

seulement de tourner, mais encore de se mouvoir longitudinalement; cette tige constitue *l'axe* de *l'alésoir*, et par conséquent de la pièce à aléser. Pour fonctionner, elle est munie soit d'une lame en acier, appelée *lame d'alésoir*, taillée en biseau sur les facettes en contact avec la pièce à aléser, et traversant l'axe de l'alésoir de part en part; soit d'une tourte en fonte portant à sa circonférence extérieure plusieurs lames d'alésoirs dont l'effet est le même que celui d'une seule. La lame transversale s'emploie pour les trous compris entre 50 et 200 millimètres, et la tourte munie de lames, pour les trous au-dessus de 200 ^{mm}. L'axe de l'alésoir est, comme celui du tour, mis en mouvement par un système de poulies et engrenages à plusieurs vitesses, recevant leur mouvement de rotation, à volonté, de l'arbre principal.

Le mouvement longitudinal dont est doué l'axe a pour but de pouvoir faire avancer l'outil à mesure qu'il mord dans le métal; on opère cet avancement soit au moyen d'un poids agissant sur son extrémité, soit au moyen d'une vis sans fin et d'engrenages.

On distingue deux espèces d'alésoirs : l'alésoir horizontal, l'alésoir vertical.

Dans le premier, l'axe est horizontal, dans le deuxième il est vertical.

L'alésoir horizontal s'emploie de préférence pour toutes les pièces dont le diamètre nécessite l'adjonction de la tourte en fonte, ou dont la longueur est très-grande par rapport au diamètre, comme cylindres à vapeur et corps de pompe. On l'emploie encore dans le cas où les pièces se posent mieux sur une face parallèle à l'axe du trou, que sur une face qui lui est perpendiculaire, comme les supports que l'on alèse par douzaine à la fois, et les chapes de fourchettes de bielles que l'on alèse ensemble, afin que les trous se correspondent parfaitement.

L'alésoir vertical s'emploie de préférence pour les pièces plates, telles que balanciers, manivelles et roues d'engrenage.

L'alésoir horizontal présente, pour les grands diamètres seulement, un inconvénient qui ne se rencontre pas dans l'alésoir vertical et qui est le suivant.

Lorsqu'un cylindre à vapeur a un diamètre dépassant $1^{m}.25$, si on le place horizontalement, il s'affaisse d'une petite quantité proportionnelle à son diamètre, par suite du

poids et de l'élasticité de la fonte; de plus, quand on le met sur l'alésoir horizontal, on est obligé, pour le maintenir en place, de le serrer contre la plate-forme en fonte au moyen de chaînes en fer qui l'embrassent tout entier; ces chaînes sont tendues et l'aplatissent encore, cela d'autant plus que son diamètre est plus grand. Il suit de là que quand le cylindre a été alésé rond dans cette position, si on le redresse, il reprend sa forme extérieure primitive, et le cercle de l'intérieur se trouve converti en une ellipse, inconvénient assez grave à cause du piston qui entre rond dans le cylindre.

On a tenté, pour cette raison, de substituer l'alésoir vertical à l'alésoir horizontal pour les pièces longues ou exigeant la tourte, et on n'a pas obtenu d'assez bons résultats pour faire renoncer à l'emploi de ce dernier. En effet, dans l'alésage vertical, il faut, comme dans l'horizontal, mettre l'axe de l'alésoir dans l'axe de la pièce. Or, pour une pièce plate, l'axe de la pièce s'obtient en mettant la surface supérieure de niveau et prenant le centre, ce qui se fait facilement. Pour un cylindre, au contraire, l'axe est une parallèle aux faces extérieures, et s'obtient très-facilement sur l'alésoir horizontal, puisqu'il suffit de le coucher sur la plate-forme et de prendre le centre, tandis que, pour l'alésoir vertical, il faut jeter le plomb et ensuite fixer solidement le cylindre sur la plate-forme, ce qui n'est pas facile. D'un autre côté, un alésoir vertical pour pièces longues exige une grande distance entre les supports; l'espacement des supports, dans cette machine, entraîne de grands frais et ôte de la solidité. Pour ces divers motifs, nous regardons l'emploi de l'alésoir vertical comme mauvais et très-coûteux pour les pièces qui exigent *d'habitude* l'adjonction de la tourte.

L'alésoir, en général, est une machine qui exige une grande solidité, parce que l'homogénéité n'existe pas dans les métaux que l'on travaille, et il se présente toujours des places plus douces ou plus dures les unes que les autres; il résulte de là que le travail de l'alésoir se compose d'une infinité de soubresauts qui, au lieu d'une face régulière cylindrique ou conique, donnent une surface ondulée que l'on est obligé de reprendre une, deux et trois fois pour les très-grands diamètres. Dans ces derniers cas, où les ondulations se manifestent particulièrement, les soubresauts tiennent non-seulement à l'hétéréogénité des molécules, mais aussi à

l'élasticité de l'axe de l'alésoir qui agit par torsion, ainsi qu'à celle des bras de la tourte. Le rayon extrême de la lame se raccourcit, puis s'allonge, ce qui fait un petit plan incliné à chaque soubresaut. Cet inconvénient est principalement sensible quand on opère la pression au moyen d'un poids, parce qu'alors la lame pénètre très-avant dans les parties douces et ne fait qu'effleurer les dures. Dans les bons alésoirs, on règle l'avancement de la lame par une vis sans fin, des engrenages et une crémaillère ; par ce moyen, l'outil avance toujours de la même quantité, parce que, si la matière est douce, il est retenu par la crémaillère, et si elle est dure, il est poussé par cette dernière. Le seul inconvénient que l'on puisse reprocher à la vis, c'est de casser quelquefois les lames en les forçant sur des parties plus résistantes qu'elles, tandis que, par la pression, la lame revient en arrière et se contente de ne pas mordre. Mais cet inconvénient est largement compensé par celui que présente l'alésoir à poids, quand la lame, rencontrant une partie très-douce, s'y enfonce et en rencontre, après, une dure qui la casse, parce qu'elle est engagée trop avant pour revenir sur ses pas.

Pour locomotives on emploie les deux espèces d'alésoirs et une seule dimension de chaque espèce :

Pour l'alésoir horizontal.	longueur.	2m.00
	hauteur de l'axe. .	0m.50
Pour l'alésoir vertical. . .	diamètre.	2m.00
	hauteur *du travail*.	1m.00

Les vitesses d'alésage sont :

Pour la fonte douce.	0m.05	par seconde.
la fonte dure. .	0m.0125	
le fer.	0m.10	
le cuivre et le bronze, la plus grand possible.		

Les aléseurs se paient généralement à l'entreprise. On traite avec eux au mètre courant et non à la surface, comme on pourrait le supposer, parce que la peine qu'ils se donnent pour une petite pièce est à peu près la même que pour une grande, et comme les dimensions des pièces sont très-variables, elles se compensent mutuellement. En supposant

qu'un bon aléseur doit gagner 5 à 6 fr. par jour, on paie :

Sur l'alésoir horizontal, dont le moindre cylindre a 1^m de diamètre, 10 fr. le mètre courant.

Sur l'alésoir horizontal pour cylindres d'au plus $0^m.40$ de diamètre, 2 fr. le mètre courant.

Donc, pour alésoir de $0^m.40$ à 1^m, 6 fr. le mètre courant.

Pour alésoir vertical de grosses pièces, 75 c. la pièce.

Pour alésoir vertical de petites pièces, 2 fr. le mètre courant.

Ces prix sont approximatifs et varient nécessairement suivant la qualité des machines que l'on met à la disposition des ouvriers. La place qu'occupe un alésoir est :

	m.		m.		m.q.
Pour alésoir horizontal.	3	×	6	=	20
Pour alésoir vertical. .	5	×	5	=	25

3° *Rabotage.*

L'emploi de la machine à raboter est assez récent en France. Il y a dix ans, nous n'en possédions pas le dixième de ce que nous en avons aujourd'hui, et nous sommes encore loin d'être au complet. La machine à raboter a pour but de dresser une face, c'est-à-dire de faire l'opération considérée jusque là comme la plus difficile, parce qu'elle s'effectuait à la main, au moyen du burin et de la lime; aussi a-t-elle opéré une révolution dans l'art de la construction des machines, et a-t-elle puissamment contribué aux progrès des locomotives.

Cette machine (fig. 3 et 4, Pl. XII) se compose d'une plate-forme mobile, douée d'un mouvement de va-et-vient, suivant une ligne déterminée, au moyen d'une crémaillère et de roues d'engrenage combinées à cet effet, ou mieux encore au moyen d'une vis, comme l'exécutent actuellement MM. *Sharpp Robert* de *Manchester*. C'est sur cette plate-forme que l'on place la pièce à raboter, soit horizontalement, soit verticalement, ou inclinée, en ayant soin de disposer la face à travailler parallèlement à la ligne suivant laquelle se meut la plate-forme. Cette pièce est fixée au moyen de traverses et boulons qui s'assemblent avec la plate-forme dans des trous ménagés à cet effet.

L'outil est fixé dans un *porte-outil* placé au-dessus de la

plate-forme et maintenu au moyen de jambes de force qui s'assemblent avec le bâtis de la machine. Le porte-outil peut, à la volonté de l'ouvrier, monter ou descendre, aller de droite à gauche, et outre cela prendre une inclinaison quelconque. Par ces dispositions on parvient à raboter dans tel sens que l'on veut. L'outil a une forme et une action analogues à celles du crochet du tourneur ; quand la matière à raboter est malléable, comme le fer et le cuivre, il enlève des copeaux absolument comme le rabot du menuisier ; seulement ces derniers sont très-étroits.

On distingue plusieurs dimensions de rabots, et il est indispensable de les avoir toutes pour les locomotives.

	Longueur de la plate-forme.
1° Le petit rabot (fig. 3).	1m.50
2° Le rabot moyen (fig. 4).	4 .00
3° Le grand rabot.	6 .50

Le premier sert pour toutes les petites pièces dont la hauteur ne dépasse pas 20 centimètres et la largeur 30 centimètres.

Le rabot moyen sert pour les plates-formes de tiroirs dans les cylindres à vapeur ne dépassant pas 0m.50 de haut, 0m.50 de large, ainsi que pour toutes les pièces longues au-dessous de quatre mètres.

Le gros rabot sert pour les cylindres jusqu'à un mètre de haut, et pour toutes les pièces jusqu'à un mètre de large et 6m. 50 de long. On l'emploie à couper les feuilles de tôle qui servent à faire le châssis des locomotives, quand ce dernier est droit : il sert aussi à polir leur surface.

Le travail du rabot se fait généralement à la journée ; mais il peut s'effectuer à l'entreprise au mètre quarré. Un bon ouvrier peut faire, en moyenne, un mètre quarré de surface de rabot par jour, quand les pièces ne sont pas trop longues à mettre en place. L'entreprise présente un inconvénient qui est le suivant : pour bien raboter une pièce, il faut commencer par l'attaquer très-légèrement, afin de n'avoir pas trop à mordre dans certaines parties sinueuses qui exposent l'outil à se casser. Il faut donc un second, un troisième et quelquefois un quatrième passage du rabot pour arriver à la perfection. Or, comme cela a lieu pour chaque pièce, et qu'un ouvrier fait quelquefois 12 et 15 pièces dans sa

journée quand elles sont petites, il faut ou mesurer chaque passage du rabot, ou ne mesurer que la pièce finie. Le premier cas est impossible pratiquement, et le second encourage l'ouvrier à passer le moins de fois possible le rabot et à moins soigner son travail, ce qui met dans la nécessité d'envoyer les pièces au finissage et les fait coûter le double. Nous pensons qu'il est de l'intérêt du constructeur de ne faire exécuter ce travail qu'à la journée.

La place occupée par le petit rabot est de 3 mèt. sur 4, ou 12 mèt. quarrés.

Pour le rabot moyen 4^m sur 6 = 25 m. q.
Pour le grand rabot 5^m sur 12 = 60 m. q.

4° *Forage.*

Le forage s'opère au moyen *des machines à percer*. Dans un atelier bien monté, ces machines sont au nombre de 3, une pour chaque métal, fonte, fer et cuivre.

La machine à percer consiste en une plate-forme horizontale, à hauteur variable, sur laquelle on pose la pièce dans laquelle on veut pratiquer un trou.

Au-dessus de la plate-forme est un arbre vertical, porté dans deux supports et pouvant, comme dans l'alésoir vertical, monter et descendre à la volonté de l'ouvrier. Cet arbre reçoit son mouvement de rotation de l'arbre principal, par le système de poulies et engrenages que nous avons décrits pour le tour, et qui est le même absolument pour toutes les machines. A l'extrémité inférieure est un trou quarré dans lequel se loge la *mèche* destinée à faire le trou. Cette mèche en acier se compose de deux facettes, taillées en biseau de chaque côté d'une pointe pyramidale à base quarrée, qui se place au centre du rond tracé sur la pièce à percer. A mesure que l'outil mord, on fait descendre l'arbre, et comme la pointe centrale est quarrée, elle creuse toujours son trou à l'avance, et maintient ainsi l'outil dans la direction qu'il doit avoir.

Le travail des machines à percer est généralement fait par les *ajusteurs* proprement dits, parce qu'il fait, la plupart du temps, partie du finissage des pièces.

Mais rien ne s'oppose à ce qu'il se fasse à l'entreprise par des ouvriers spéciaux, comme l'alésage; il y aurait même bénéfice pour le constructeur à ce qu'il en fût ainsi, parce que l'ouvrier fait d'autant plus de besogne que cette der-

nière varie moins, et qu'il faut une certaine habitude pour percer une pièce bien et lestement. Ce travail s'opérant sur des diamètres dont le plus grand est 50 millimètres, est généralement destiné aux brides des cylindres ou à toute autre pièce dont l'épaisseur ne dépasse pas 4 à 5 centimètres. Pour cette raison, nous évaluons à 5 centimes le trou le travail de la machine à percer, y compris le tracé qui indique la place des trous.

Une machine à percer occupe un espace de 3m sur 3m, ou 10 m. q.

5° *Taraudage.*

Le taraudage se divise en deux opérations qui sont : le filetage et le taraudage proprement dit.

Ces deux opérations marchent toujours ensemble, parce qu'elles se font pour deux pièces destinées à entrer l'une dans l'autre, et appelées, la première le *boulon*, et la seconde l'*écrou*.

Le filetage s'opère au moyen de la filière, et s'applique au boulon : le taraudage s'opère au moyen du taraud et s'applique à l'écrou.

Généralement le *filet* de vis des boulons et écrous est triangulaire; ce n'est que dans des cas particuliers, lorsqu'il faut que le boulon avance de quantités parfaitement égales pour des arcs de cercles égaux, quelle que soit la résistance, qu'on fait les filets de vis quarrés.

On nomme pas de vis la distance entre les milieux de deux filets consécutifs. Cette distance varie suivant le diamètre, et est en moyenne égale au $^1/_8$ de ce diamètre.

Le taraudage s'opère à la main et à la mécanique : à la mécanique pour les boulons et écrous; à la main pour toutes les pièces qui, n'étant ni boulons ni écrous, s'assemblent, soit avec le boulon comme dans les taraudages de la fonte pour cylindres et boîtes à vapeur; soit avec l'écrou, comme dans les filetages de tirants et de tiges. Dans les deux cas le résultat est le même; la manœuvre des outils seule est différente.

1° *Filetage.* Le filetage d'une tige cylindrique s'opère de la manière suivante : on détermine le pas de vis suivant le diamètre de la pièce, puis on place cette dernière sur le tour où on lui enlève une épaisseur égale à la moitié du pas de vis dans toute la partie qui est destinée à être filetée. La pièce ainsi préparée se place, soit dans un étau quand le filetage se fait à la main, soit dans la machine à fileter ou ta-

rauder dont nous parlerons tout à l'heure. On a alors une filière ou barre de fer ronde, d'une longueur égale à quarante fois le diamètre de la tige à fileter, renflée à son centre d'une partie plate dont l'épaisseur est égale au diamètre de la tige, et qui est percée en son milieu d'un trou rectangulaire ayant pour longueur dans le sens de la barre de trois à deux fois le diamètre de la tige, suivant la dimension de ce diamètre, et pour longueur transversale de quatre à trois fois ce même diamètre. Dans ce rectangle se logent les *coussinets* de la filière, qui sont deux pièces en acier taraudées chacune sur une demi-circonférence égale à celle de la tige, et avec le pas qui convient à cette dernière. Ces coussinets sont séparés à la lime triangulaire en leurs milieux sur la partie taraudée seulement, en deux quarts de cercles, dont l'intervalle leur donne plus de prise sur la pièce à fileter; et ils sont maintenus dans la filière au moyen de *joues* rapportées en dehors. Ils se serrent à volonté l'un contre l'autre, au moyen d'une petite vis transversale. C'est pour pouvoir opérer graduellement ce serrage que le trou de la filière est rectangulaire et non pas quarré.

Pour fileter un boulon, on passe la filière dessus et on serre les coussinets, en ayant bien soin de mettre de l'huile en excès, sans quoi le filetage ne s'opèrerait pas et l'on casserait la filière, ou on emporterait les filets à mesure qu'ils se formeraient. Quand les coussinets sont serrés, on tourne depuis le bas jusqu'en haut, puis on redescend en tournant, serrant la vis et huilant; on remonte de même et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on ait obtenu le filet triangulaire.

2° *Taraudage*. On perce le trou d'un diamètre égal à celui de la tige, moins une épaisseur tout autour, égale à un $1/2$ pas de vis. On a quatre tarauds ou espèces de boulons coniques filetés, dont le plus gros a, pour diamètre maximum, le diamètre de la tige, et les autres des diamètres sans cesse décroissants. Ces tarauds sont en acier et aplatis sur quatre faces, à la lime, jusqu'au fond du pas de vis, de manière à présenter une section octogonale dont quatre côtés sont des lignes droites, les quatre antres des arcs de cercle. Cet aplatissement du pas de vis a pour but, comme dans la filière, de faciliter la prise des filets dans le métal. Quand le diamètre va à 40 millimètres, non-seulement on aplatit, mais encore on creuse pour laisser plus

de place aux ordures et à l'huile : dans ce cas, l'octogone se compose de huit arcs de cercle, quatre convexes et quatre concaves.

Pour tarauder soit à la main, soit à la mécanique, on place le plus petit taraud le premier et on le fait tourner au moyen d'une clef dans laquelle sa tête entre exactement. Quand il a été enfoncé jusqu'au bout, on met le deuxième, et ainsi de suite jusqu'au dernier.

Ainsi, à la main on tourne la filière et le taraud. A la mécanique, la filière ne tourne pas, c'est la pièce à fileter qui tourne, et le taraud.

Le filetage et le taraudage à la mécanique se font avec la même machine consistant en un arbre horizontal doué d'un mouvement de rotation sur lui-même et ayant la faculté de se mouvoir longitudinalement dans des supports. Le centre de cet arbre correspond au centre d'une pièce appelée filière, susceptible de recevoir soit des coussinets quand on veut filtrer, soit des écrous quand on veut tarauder. L'extrémité de l'arbre peut aussi recevoir à volonté soit un taraud, soit un boulon.

Le plus important de cette opération est la fabrication des tarauds et filières. Pour faire un appareil complet de tarauds et filières propres à un diamètre déterminé, on commence par fabriquer un *peigne* ou lame en acier, à l'un des bords de laquelle on a fait des dents exactement égales au pas de vis que l'on veut obtenir. Cette lame, trempée très-dur, sert à confectionner sur le tour un premier taraud en acier, appelé *mère de taraud*; cette mère de taraud a la forme exacte du dernier taraud, et sert à fabriquer les coussinets de la filière par le procédé de taraudage ordinaire. Quand la filière est faite on l'emploie à confectionner les tarauds coniques, ce à quoi on parvient en enlevant à ses coussinets une épaisseur au milieu égale au $^1/_{10}$ du diamètre réel, ce qui convertit le trou, quand ils sont serrés, en une espèce d'ellipse dont le petit diamètre est le diamètre inférieur du plus petit taraud. Bien entendu que tous ces outils sont en acier, et se travaillent par la méthode ordinaire propre à ce métal.

Il faut donc, pour un diamètre de boulon donné :

1° Un peigne (on compte même une mère de peigne.)

2° Une mère de taraud.

3° Une filière.

4° Quatre tarauds.

Autant de diamètres de boulon on aura dans un atelier, autant de fois il faudra avoir ces sept outils dont la valeur est assez grande. Ici, comme partout ailleurs, il est donc important de limiter le nombre des pièces différentes.

Le taraudage pour écrous et boulons est l'opération qui comporte le mieux le travail à l'entreprise. Dans ce cas, le prix se paie d'après le diamètre et non au poids.

Une machine à tarauder occupe un espace de 3^m sur 4^m ou 12 mètres quarrés.

6° *Parage.*

Cette opération, qui s'exécute au moyen de la *machine à parer*, est assez nouvelle dans l'art du constructeur, et promet, par les services qu'elle rend, de s'y propager rapidement.

La machine à parer consiste en une plate-forme circulaire et horizontale, susceptible d'un mouvement de rotation sur elle-même, et de deux mouvements rectilignes perpendiculaires dans le plan horizontal. Sur cette plate-forme se place la pièce à travailler présentant la face à parer verticale. Au-dessus de la pièce est une tige verticale douée d'un mouvement rectiligne alternatif et portant l'outil. D'après le mouvement du porte-outil, on voit que l'action de ce dernier est vertical et suivant sa longueur, ce qui le distingue du rabot qui attaque la pièce transversalement. Cet outil est une lame d'acier rectangulaire taillée en biseau sur une de ses petites faces, et n'a pas plus de deux centimètres de large; cette petite face est tantôt plane, tantôt ronde, tantôt large, tantôt étroite, suivant les pièces à confectionner.

Il est de la plus haute importance, dans cette machine, de veiller à ce que l'outil n'ait pas à mordre sur une grande épaisseur de copeau à la fois, car, dans ce cas, la résistance étant directe, il n'y a pas d'élasticité et il faut que, si la pièce ne cède pas, quelque chose casse. Afin d'éviter, quand cette circonstance se présente, que ce soit une partie importante qui cède, on a soin de construire très-légère la bielle qui sert à convertir le mouvement circulaire continu de la manivelle en celui rectiligne alternatif de l'outil.

Le mouvement de rotation que peut prendre la plate-forme sur elle-même est pour la confection des faces cylindriques. Ce mouvement se donne, soit à la main, soit par la machine même. Les mouvements rectilignes de cette même plate-forme sont pour la confection des mortaises ou travaux analogues. L'un de ces deux mouvements est donné

à la main, l'autre par la machine; celui donné à la main est pour varier le point d'attaque de l'outil.

Le travail sur la machine à parer est, comme celui du rabot, trop délicat pour être bien fait à l'entreprise. Il se fait à la journée et demande un ouvrier soigneux et intelligent.

La place occupée par une machine à parer est de 4 mètres sur 3 ou 15 mètres quarrés.

7° *Ajustage proprement dit.*

Cette opération s'effectue sur l'*étau* au moyen du *burin*, du *marteau* et de la *lime*. Le burin et le marteau servent à enlever ce qui n'a pu l'être par les machines; et la lime sert à polir.

On distingue deux espèces de burins, le *ciseau* et le *bédanne*. Dans le ciseau le *taillant* est parallèle au côté le plus long de la section du burin, et dans le bédanne, le taillant est parallèle au petit côté. Le premier sert pour enlever des copeaux minces et larges, et le second sert pour enlever des copeaux épais et étroits.

Dans les limes on distingue : la lime dure, la lime demi-dure, la lime demi-douce, la lime douce. Quand on commence le travail de la lime, on emploie d'abord l'une des deux premières, suivant la pièce et le degré de fini apporté par le burin, et on finit avec l'une des deux dernières, suivant le degré de poli que l'on veut obtenir.

Le travail de l'ajustage se fait à la journée et à l'entreprise. Dans ce dernier cas, il est variable, suivant la nature des pièces à finir. A la journée, un bon ajusteur gagne de 4 à 6 fr., suivant les localités. La place qu'il occupe dans l'atelier est 1m. 50 de large sur 2m perpendiculairement à son établi, cela à cause des grandes pièces ou des cylindres qu'il a à terminer. On peut compter net 4 mètres quarrés.

RÉSUMÉ.

Pour déterminer le prix de revient moyen de 1 kilog. fer, fonte ou cuivre ajusté, nous rappellerons que, à la forge, 1 kilog. de fer façonné vaut, en moyenne, 1 fr., et à la fonderie, 1 kilog. fonte moulée vaut en moyenne 32 cent. Admettant les mêmes frais proportionnels pour le cuivre que pour la fonte, nous aurons, pour valeur moyenne, de 1 kilog. de cuivre sortant de la fonderie 3 fr. 40 cent. net.

En second lieu, nous dirons que pour un mois de main-

d'œuvre à l'ajustage, sur 15,000 kilog. fer, et 100,000 k. fonte et cuivre, on a payé 8,800 fr.

Si la main-d'œuvre du fer était la même que celle de la fonte, on aurait facilement la main-d'œuvre de 1 kilog. de métal avec ces renseignements; mais il n'en est pas ainsi. En effet, déjà nous avons trouvé que la main-d'œuvre moyenne de 1 kilog. fer sortant de la forge était. 0f.253

Et celle de 1 k. de fonte sortant de la fonderie. 0. 03725

Ce qui donne, pour rapport de main-d'œuvre à la forge et à la fonderie. . . . . . . $\frac{0.253}{0.03725} = 7$ environ.

A l'ajustage, ce rapport est encore plus élevé, et on peut l'évaluer en moyenne à 8.

On a alors :

$$\begin{aligned} 15000\text{k. fer} = 15000 \times 8 &= 120000\text{ k. fonte.} \\ &+ 100000 \\ \text{Total. . . .} \quad &\overline{220000\text{ k.}} \end{aligned}$$

et $220000 : 8800 :: 1 : x =$ 0f.04

Donc pour 1 kil. fonte. 0. 04
1 kil. cuivre. . . . 0. 04
1 kil. fer. 0. 32

On compte à l'ajustage, en moyenne, que la dépense, en frais d'outils et frais généraux, est égale à la main-d'œuvre ; on a donc :

	Brute.	Main-d'œuvre et frais divers.	Somme.
1 k. fonte ajustée.	0f.32	0f.08	0f.40
1 k. cuivre ajusté.	3. 40	0. 10	3. 50
1 k. fer ajusté.	1. 00	0. 65	1. 65

Quant au travail de chaque ouvrier sur chaque outil différent, sa détermination exige que l'on entre dans les détails de l'organisation de l'atelier, et, pour cette raison, nous renvoyons le lecteur au chapitre suivant.

Administration de l'ajustage.

Cet atelier est sous la direction d'un seul chef portant le nom de contre-maître de l'ajustage. Les livres qu'il doit tenir sont les plus compliqués de tous, et nécessitent l'adjonction

d'un comptable. L'ajustage reçoit les pièces brutes de forge et de fonderie avec les plans indispensables pour leur confection. Les pièces, excepté la fonte, sont emmagasinées et inscrites pour être ensuite distribuées aux divers outils qui doivent les finir. Le livre d'*inscription* des pièces se compose de huit colonnes dont la première porte leurs nom et destination, et les sept autres les noms des sept opérations de l'ajustage; on remplit ces dernières soit par le prix payé à l'entreprise, soit par le nombre d'heures employées à chaque pièce, ou des guillemets pour le cas où la pièce ne subit pas l'opération correspondante à une colonne. Ce travail, qui peut paraître long et minutieux au premier abord, est singulièrement abrégé par une décomposition des pièces que nous ferons plus loin; il est, du reste, indispensable pour l'appréciation du prix de revient de chaque pièce.

Outre le livre d'inscription des pièces, il y a le livre des journées et travaux à l'entreprise, comme à la forge où chaque ouvrier a son compte particulier.

Enfin, le livre de comptabilité des matières indiquant: 1° les quantités de matières reçues à l'ajustage, se composant du poids des métaux, fonte, fer, cuivre et des outils, et fournitures diverses; 2° le prix de la main-d'œuvre au bout de chaque mois; 3° le poids des pièces terminées. Au moyen de ce livre on déduit à la comptabilité générale le déchet de l'ajustage et le prix de revient moyen du travail dans cet atelier au kilog., suivant la matière.

§ 3. *Montage.*

Le montage des machines s'effectue dans un bâtiment spécial pour cette opération, et varie suivant l'espèce de machines que l'on a à monter. Nous n'avons donc rien à dire, quant à présent, sur le travail de cet atelier, si ce n'est que l'on y emploie divers outils qui sont:

1° Les *grues*, les *treuils* et les *palans* afin de soulever les pièces trop lourdes pour être portées à bras d'hommes.

2° *Les machines à percer*, soit à la mécanique, soit à la main, pour faire les trous dont la position n'est déterminée qu'au montage.

3° La *cisaille* et le *poinçon* pour découper des tôles et faire des rondelles d'écrous.

4° Les *étaux*, *marteaux*, *burins*, *limes*, *clefs d'écrous*,

niveaux, *compas*, etc., constituant les outils spéciaux du monteur.

5° *Une petite forge à main* pour forger les burins, etc.

Le montage se fait à la journée et à l'entreprise. Les monteurs destinés à aller monter les machines sur les lieux où elles doivent servir, se paient au mois. Il y a des monteurs à 200 et 250 francs par mois; il y en a à trois et quatre francs par jour. Les machines qui se montent à l'entreprise sont celles dont les modèles ont déjà été exécutés. Ce mode de montage est dangereux pour le constructeur, si ce dernier n'a pas affaire à des ouvriers consciencieux; aussi doit-il l'employer le moins possible.

La place occupée par un monteur pour locomotives est de 6^m de large sur 10^m de long en moyenne; et si on y comprend les machines, outils et accessoires, on peut évaluer cette place à 100 mètres quarrés.

Administration.

Le contre-maître du montage a trois livres à tenir : 1° le livre des machines en montage; 2° le livre des journées des monteurs indiquant le temps passé par chacun d'eux sur les machines en montages; 3° le livre de comptabilité des matières, indiquant toutes les fournitures faites pour chaque machine par le magasin général.

CHAPITRE III.

ORGANISATION DE L'ATELIER DE CONSTRUCTION.

Ce chapitre comprend :

1° La composition de l'usine;
2° L'organisation du travail;
3° Le roulement de l'usine.

SECTION PREMIÈRE.

Composition de l'atelier de construction des machines locomotives.

Toute usine, fonctionnant, se divise en trois services distincts, qui sont : La fabrication,
La direction,
L'administration.

Chacun de ces services comprend 3 parties :
Le personnel;
Le mobilier,
L'immeuble.

Composer un atelier de construction, c'est déterminer l'étendue de chacune de ces parties dans les trois services de l'usine, pour une fabrication déterminée.

Pour arriver à ce résultat, il est indispensable de connaître d'abord dans quels rapports ces trois parties se trouvent généralement établies dans les ateliers existants; c'est ce que nous allons rechercher immédiatement.

ARTICLE Ier. — FABRICATION.

§ 1. — *Personnel.*

Le personnel de la fabrication se compose des ouvriers employés pour chacune des opérations que nous avons étudiées dans le chapitre précédent.

Trois problèmes président à la détermination du nombre des ouvriers que l'on devra se procurer pour arriver à une production voulue d'objets confectionnés, dans un temps donné, et pour une somme calculée; ce sont :

1° *Déterminer les nombres proportionnels d'ouvriers employés dans chaque opération.*

2° *Déterminer la quantité moyenne de travail effectué par un ouvrier, dans chaque opération, pendant un temps donné.*

3° *Déterminer le prix de revient moyen de la main-d'œuvre de 1 k. de matière convertie en pièces de machines, dans chaque opération.*

Nous allons résoudre successivement chacune de ces questions.

1° *Nombres proportionnels d'ouvriers employés dans chaque opération.*

Dans un atelier de construction en pleine activité, construisant toutes espèces de machines à vapeur, nous avons trouvé, à différentes époques :

Nombres proportionnels d'ouvriers.

	1re CL.	2e CL.	3e CL.	Manœuv.	Élèves.
1° *Forges à main.*	10	15	10	50	»
2° *Fonderie.*					
Modeleurs.	1	4	2	»	»
Mouleurs.	10	10	11	52	21
3° *Chaudronnerie.*	1	5	14	19	8
4° *Ajustage.*					
Tourneurs.	6	4	10	»	23
Aléseurs.	1	4	6	»	3
Raboteurs.	1	1	2	»	»
Foreurs.	1	1	1	»	»
Taraudeurs.	1	2	2	»	»
Pareurs.	1	1	»	»	»
Ajusteurs finisseurs.	20	20	20	30	7
5° *Montage.*	2	2	4	11	»
6° *Accessoires.*					
Menuisiers.	1	1	»	»	»
Charpentiers.	1	2	3	»	»
Charrons.	1	2	»	»	»
Maçons.	1	2	»	3	»
Couvreurs.	1	1	»	»	»
Plafonneurs, plâtriers, vitriers, peintres.	1	1	»	»	»
Service de la cour.	»	»	»	15	»
TOTAUX.	61	78	85	180	62

Admettant que l'on paie, en moyenne, par jour :

1 ouvrier de première classe	5 fr.
1 *id.* de deuxième *id.*	4
1 *id.* de troisième *id.*	3
1 manœuvre.	2
1 élève ou quatrième classe.	1

Nous déduisons du tableau ci-dessus :

Pour	1.0 ouvrier de première classe . . . =	5f. 00 c.
Il y a :	1.3 ouvrier de deuxième *id.* . . . . =	5. 20
	1.4 *id.* de troisième *id.* . . . . =	4. 20
	3.0 manœuvres . . . . =	6. 00
	1.3 élèves. . . . . =	1. 30
Total :	8.0 ouvriers. . . . . =	21f. 70

$$\text{ou 1 ouvrier moyen} = \frac{21.70}{8} = 2.70 \text{ par jour.}$$

Réduisant le tableau ci-dessus à sa plus simple expression, nous obtenons pour nombres proportionnels d'ouvriers :

1° *Dans chaque partie de l'atelier prise séparément.*

		Ouvriers.	Manœuvres.
1° Forges à main.		1	1.5
2° Fonderie. . .	modeleurs . .	1	0.0
	mouleurs . .	7.5 . . .	7.5
3° Chaudronnerie.		1	0.7
4° Ajustage. . .	tourneurs . .	20.0	15.0
	aléseurs . . .	7.0	
	raboteurs . .	2.0	
	foreurs. . . .	1.5	
	taraudeurs. .	2.5	
	pareurs . . .	1.0	
	finisseurs . .	30.0	
5° Montage		1 . . .	1.5

2° *Pour toutes les parties réunies :*

		Ouvriers.	Manœuvres.
1° Forges à main		1.0. . .	1.5
2° Fonderie. . .	modeleurs. . .	0.2. . .	0.0
	mouleurs . . .	1.5. . .	1.5
3° Chaudronnerie		0.8. . .	0.5
		3.5	3.5

		3.50		3.50
4° Ajustage 3.75	tourneurs. . .	1.00	. .	1.00
	aléseurs . . .	0.34		
	raboteurs. . .	0.10		
	foreurs. . . .	0.09		
	taraudeurs . .	0.15		
	pareurs. . . .	0.07		
	finisseurs. . .	2.00		
5° Montage		0.20	. .	0.00
6° Accessoires.		0.50	. .	0.50
	Totaux. . . .	4.45		5.00

2° *Quantité moyenne de travail effectué par un ouvrier dans chaque opération, pendant un mois.*

Nous avons les renseignements suivants :

1° Une forge, composée de 35 forgerons, produit, par mois, 16000 kilog. de pièces brutes de machines; donc $\frac{16000}{35}$ = 455 kilog. en moyenne par forgeron.

2° Une fonderie, composée de 50 mouleurs, produit, par mois, 140.000 kilog. de pièces brutes de machines; donc $\frac{140000}{50}$ = 2800 kilog. par mouleur.

Admettant que, sur les 16000 kilog. de fer, 1000 kilog. sont employés bruts, et sur les 140000 kilog. de fonte, 40000 kilog. sont employés bruts, il passe à l'ajustage :

1° Par forgeron 430 kilog. fer;
2° Par mouleur 2000 kilog. fonte.

Comme, pour un forgeron, il y a 1.5 mouleurs et 3.75 ajusteurs, il en résulte que :

3.75 ouvriers d'ajustage finissent par mois 430 kil. fer.
2000 × 1.5 = 3000 kil. fonte.
d'où : 1 ajusteur seul. . . 115 kil. fer.
800 kil. fonte.

Pour déterminer le travail d'un ouvrier de l'ajustage dans chaque opération, nous supposerons que :

1° Les tourneurs reçoivent : 0.75 du fer livré;
0.01 de la fonte livrée.

2° Les aléseurs chargés en même temps des gros tours :

	0.20 fer livré ;
	0.75 fonte livrée.
3° Les raboteurs.	0.50 fer livré.
	0.33 fonte *id.*
4° Les foreurs	0.10 fer *id.*
	0.50 fonte *id.*
5° Les taraudeurs.	0.10 fer *id.*
6° Les pareurs.	0.25 fer *id.*
	0.10 fonte *id.*
7° Les ajusteurs finisseurs. . .	tout le fer,
	toute la fonte.

Nous aurons alors pour :

430 kilog. fer.
3000 kilog. fonte.

livrés à l'ajustage.

Travail des divers outils.

	Fer.	Fonte.
1° Tours.	323 k.	30 kilog.
2° Alésoirs et gros tours	86 k.	2250 kilog.
3° Rabots.	215 k.	1000 kilog.
4° Forets.	43 k.	1500 kilog.
5° Tarauds et filières. .	43 k.	0 kilog.
6° Machines à parer . .	108 k.	300 kilog.
7° Ajusteurs finisseurs .	430 k.	3000 kilog.

Au moyen de ce tableau et de celui donnant les nombres proportionnels d'ouvriers employés dans chaque opération, le forgeron étant 1, nous formerons le suivant :

Travail de 1 ouvrier par mois, dans chaque opération de l'ajustage.

	Fer.	Fonte.
1 tourneur	323 k.	30 kilog.
1 aléseur.	252 k.	6750 kilog.
1 raboteur	2150 k.	10000 kilog.
1 foreur.	475 k.	16600 kilog.
1 taraudeur.	300 k.	0 kilog.
1 pareur	1540 k.	4300 kilog.
1 ajusteur finisseur. . .	215 k.	1500 kilog.

3° *Prix de revient moyen de la main-d'œuvre de 1 kilog. de pièces confectionnées, pour chaque opération.*

La main-d'œuvre moyenne étant 2 f. 70 par jour, fait, pour 25 jours de travail ou 1 mois, 25 × 2.70 = 67 f. 50.

1° *Forge.*

1 forgeron.
1.5 manœuvre. } = 455 kilog. fer par mois.

2.5 ouvriers × 67 f. 50 = 170 fr.

d'où : 455 kilog. : 170 f. :: 1 k. : x = 0 f. 3725

Main-d'œuvre de 1 k. = 0 f. 3725.

0.3725 au lieu de 0. f. 253 trouvé dans le chapitre précédent pour exécution de toute espèce de pièces, ce qui coûte toujours moins que des pièces spéciales pour locomotives, toutes fort difficiles et très-soignées; ainsi le chiffre 0.3725 n'est pas exagéré.

2° *Fonderie.*

0.2 modeleur
1.5 mouleur
1.5 manœvre } = 1.5 × 2800 = 4200 k. fonte par mois.

3.2 ouvriers × 67 f. 50 = 217 f.

4200 : 217 :: 1 : x = 0 f. 0515

Main-d'œuvre de 1 k. = 0 f. 0515.

0.0515 au lieu de 0.03725 trouvé dans le chapitre précédent, pour les mêmes motifs que ci-dessus, toute la question étant dans le prix de la journée.

3° *Ajustage.*

1° *Ajustage complet.*

3.75 Ajusteurs } = 430 k. fer par mois.
1.00 manœuvre } = 3000 k. fonte *idem.*

4.75 ouvriers × 67 f. 50 = 320 f.

Admettant que le travail du fer est 8 fois aussi coûteux que celui de la fonte, on a :

430 kil. fer	représentant	3440 k. fonte
3000 kil. fonte	*id.*	3000 *id.*
	Total. . . .	6440

6440 : 320 :: 1 : x = 0 f. 0495

d'où :

Ajustage complet { fonte 0 f. 0495
fer. 0. 3960 }

2° *Partiel.*

3.75 ouvriers correspondant à 1 manœuvre, 1 ouvrier correspond à $\frac{1}{3.75}$ = 0.267 manœuvre, on a donc :

1. 267 × 67 f. 50 = 85 f. 50

1° *Tours.*

325 k. fer	représentant	2584 k.	fonte.
30 k. fonte	*id.*	30	*id.*
	Total . .	2614	

2614 k. : 85.50 :: 1 : x = 0.0327

d'où : tours { fonte. . . . . . . 0 f. 0327
fer. . . . . 0 f. 2616 }

2°. *Alésoirs.*

252 k. fer	représentant	2016 k.	fonte.
6750 k. fonte	*id.*	6750	*id.*
	Total . .	8766	

8766 : 85.50 :: 1 : x = 0.0098

d'où : alésoirs { fonte. 0f. 0098
fer. . . . . 0f. 0784 }

3° *Rabots.*

2150 k. fer	représentant	17200 k.	fonte.
10000 k. fonte	*id.*	10000	*id.*
	Total . .	27200	

27200 : 85.50 :: 1 : x = 0.00315

d'où : rabots { fonte. . . . . . . 0 f. 00315
fer. . . . . 0 f. 02520 }

4° *Forets.*

475 kilog. fer	représentant	3800 k.	fonte.
16600 kilog. fonte	*id.*	16600	
	Total . . .	20400	

$20400 : 85.50 :: 1 : x = 0.0042$

d'où : forets { fonte. . . . . . 0 f. 0042 / fer. . . . . . . 0 f. 0336

5° *Tarauds et filières.*

$300 \text{ k. fer} : 85.50 :: 1 : x = 0 \text{ f. } 285$

d'où : tarauds et filières; fer . . . 0 f. 285

6° *Machines à parer.*

1540 k. fer	représentant	12300 k.	fonte.
4300 k. fonte	*id.*	4300	*id.*
	Total . . .	16600	

$16600 : 85.50 :: 1 : x = 0.00515 \text{ f.}$

d'où : machines à parer { fonte. . . . 0 f. 00515 / fer. . . . . 0 f. 04120

7° *Ajustage final.*

215 kil. fer	représentant	1720 kil.	fonte.
1500 fonte	*id.*	1500	*id.*
	Total. . . .	3220	

$3220 : 85.50 :: 1 : x = 0.0265$

d'où : ajustage final { fonte. . . . . 0 f. 0265 / fer . . . . 0 f. 2120

Prenant, pour le prix de revient de la main-d'œuvre de 1 kilog. de cuivre ajusté, une moyenne entre les prix de revient pour 1 kilog. de fer et 1 kilog. de fonte, nous formerons le tableau suivant :

Main-d'œuvre de 1 kilog. de métal dans chaque opération.

	FONTE.	FER.	CUIVRE.
	f.	f.	f.
Forges à main.. . . .	»	0.3725	»
Fonderie.	0.0515	»	0.212
Ajustage complet. . . .	0.0495	0.3960	0.223
Ajustages partiels :			
1° Tours..	0 0327	0.2616	0.1471
2° Alésoirs et gros tours	0.00980	0.0784	0.0441
3° Rabots.	0.00315	0.0252	0.01427
4° Forets.	0.00420	0.0336	0.01890
5° Tarauds et filières.	»	0.2850	»
6° Machines à parer. .	0.00515	0.0412	0.02315
7° Ajustage final. . .	0.02650	0.2120	0.11920

4° *Chaudronnerie.*

On paie, en moyenne, à l'entreprise :

Chaudières ordinaires. . . 20 f. les 100 kilog.
Chaudières de locomotives 50 *id.*

Pour un ouvrier chaudronnier, il y a 0.7 manœuvre, donc : 1.7 × 25 × 2.70 = 115 f.

$\frac{115 \text{ f.}}{20 \text{ f.}}$ = 600 kilog. net de chaudières ordinaires par mois.

$\frac{115 \text{ f.}}{50 \text{ f.}}$ = 250 kilog. net de chaudières de locomotives par mois.

5° *Accessoires.*

Pour 1 forgeron, nous avons :

0.5 ouvrier d'accessoires.
0.5 manœuvre *id.*

1.0 × 25 × 2 f. 70 = 67 f. 50

Fer . 455 kilog.
Fonte 3000 *id.*

3455 : 67.50 :: 1 : x = 0 f. 02

D'où : main-d'œuvre accessoire par kilog. de pièces sortant de l'usine, 0f. 02.

§ 2. *Mobilier.*

1° *Forges à main.*

Quelle que soit la disposition d'une forge à main et le mode adopté pour la soufflerie, on peut évaluer le mobilier du forgeron ainsi qu'il suit :

Feu de forge avec dais, cheminée, grue et bache	500 f.
Soufflerie	500
1 enclume de 400 kilog.	700
200 kilog. d'outils propres, tels que marteaux, tenailles, chasses, dégorgeoirs, etc., en fer et acier, à 1 f. 25 en moyenne	250
Portion des outils d'usage général pour les pièces spéciales, 50 kilog.	100
Portion des martinets et de la machine servant à les mouvoir	1000
Portion des fours à réchauffer	500
1/2 étau pour courber à chaud, à 150 kilog. l'un, 75 kilog. à 2 f.	150
1 étau ordinaire, 75 kilog. à 2 f.	150
Charpente pour établis, etc.	250
Pour balance et divers	50
	4150
Frais imprévus	850
Net	5000

2° *Fonderie.*

Par mouleur :

5000 k. de châssis à 35 fr.	1750 f.
Portion des cubilots complets	500
Portion des fours à réverbère	500
Portion des cuillères, grues, tables séchoirs, ferraille	500
Portion des moulins à sable et à charbon	100
Portion du mobilier des modeleurs	100
Portion de la balance et divers	50
	3500 f.
Frais imprévus	500
Net	4000

3° *Chaudronnerie.*

Pour un chaudronnier :

Portion des fours	200 f.
Portion des outils à courber, découper et percer la tôle.	200
Outils divers.	250
Balance, forge et machines à rivets.	250
	900
Frais imprévus	100
Net. . . .	1000 f.

4° *Ajustage.*

Pour 1 ajusteur finisseur :

Portion de la machine à vapeur et de la transmission du mouvement	1000
Portion des courroies	100
Portion des bancs de tours.	100
$^2/_5$ d'un tour à crochet avec ses outils, complet.	600
$^1/_5$ d'un tour parallèle.	1000
$^1/_{20}$ d'alésoir horizontal.	100
$^1/_{20}$ d'alésoir vertical.	200
$^1/_{20}$ de gros tour	250
$^1/_{10}$ de petit rabot.	300
$^1/_{15}$ de rabot moyen.	400
$^1/_{20}$ de grand rabot.	500
$^1/_{12}$ de machine à percer.	150
$^1/_{12}$ de machine à tarauder.	150
$^1/_{20}$ de machine à parer.	350
$^1/_{20}$ de machine à écrous.	125
1 étau	150
Outils divers.	150
Portion des meules.	25
Portion de la balance et outils généraux	1000
	5650
Frais imprévus	350
Net. . . .	6000 f.

5° *Montage.*

Pour 1 monteur :

Outils propres.	1000 f.
Portion des grues, palans, treuils, cordes. . .	2000
Portion des machines, outils.	500
	3500 f.
Frais imprévus	500
Net.	4000 f.

Or, nous avons pour 1 forgeron :

1.5 mouleur.
0.8 chaudronnier.
2.0 ajusteurs-finisseurs.
0.1 monteur.

D'où résulte que, pour un atelier monté, la dépense en mobilier correspondant à 1 forgeron, sera :

1° Forge.	5000 f.
2° Fonderie 1.5 × 4000.	6000
3° Chaudronnerie 0.8 × 1000	800
4° Ajustage 2 × 6000.	12000
5° Montage 0.1 × 4000.	400
	24200
Ajoutant pour accessoires	800
Total . .	25000 f.

par forgeron pour le mobilier.

§ 3. *Immeuble.*

L'immeuble comprend l'emplacement et les bâtisses.

Ici les données sont beaucoup moins précises que pour les outils, parce que la valeur des objets dépend complètement de la localité où l'usine se construit et du plus ou moins de confortable que le propriétaire veut introduire dans le service de son établissement. Néanmoins on peut arriver à un calcul approximatif de la manière suivante.

1° *Emplacement.*

1° *Forges à main.*

L'espace occupé par un forgeron est, avons-nous dit, de 2.50 sur 5 m. = 12 m. q. 50. Une place équivalente peut

être comptée pour le service extérieur, ainsi qu'une autre aussi équivalente pour le bâtiment de la machine, les chaudières, les fours, les martinets et le magasin des matières premières et confectionnées. La surface correspondante à un forgeron ne peut donc être moindre que 37 m. q. 50, net 40 mètres quarrés.

2° *Fonderie.*

L'espace occupé par un mouleur est, avons-nous dit, y compris tous les accessoires, de 50 mètres quarrés. Si nous ajoutons même espace à l'extérieur pour le service de la cour et le dépôt des châssis, fontes brutes et fontes moulées, nous aurons un total de 100 mètres quarrés.

3° *Chaudronnerie.*

Nous avons trouvé pour espace occupé par un chaudronnier 50 m. q.; nous conservons cette donnée.

4° *Ajustage.*

Nous avons donné pour espaces occupés par divers outils de l'ajustage :

1 tour.	12	m. q.	en moyenne.
1 alésoir	25	*id.*	*id.*
1 rabot	25	*id.*	*id.*
1 foret.	10	*id.*	*id.*
1 machine à tarauder	10	*id.*	*id.*
1 machine à parer. .	15	*id.*	*id.*
1 ajusteur.	4	*id.*	*id.*

Au moyen du tableau indiquant les nombres proportionnels d'ouvriers, nous avons :

20	tourneurs	=	240	m. q.
7	aléseurs	=	175	*id.*
2	raboteurs	=	50	*id.*
1.5	foreurs	=	15	*id.*
2.5	taraudeurs	=	25	*id.*
1	pareur	=	15	*id.*
30	ajusteurs	=	120	*id.*

Pour 30 ajusteurs = 640 m. q.

Pour 1 ajusteur = 21.3 *id.*; soit 20 m. q.

Nous porterons ce chiffre à 30 m. q. pour l'espace occupé par la cour de l'ajustage, les chemins intérieurs, les magasins, etc., ce qui donnera 30 m. q. par ajusteur finisseur.

5° *Montage.*

Nous avons compté, pour un monteur, un espace de 100 mètres quarrés; nous conserverons ce chiffre et aurons en résumé :

Emplacement correspondant à un forgeron :

				m. q.		m. q.
1°	Forge.	1	×	40	=	40
2°	Fonderie	1.5	×	100	=	150
3°	Chaudronnerie . .	0.8	×	50	=	40
4°	Ajustage	2	×	30	=	60
5°	Montage	0.2	×	100	=	20
				Total. . . .		310 m. q.

Net . . . . 300 mètres quarrés.

Si nous évaluons le mètre quarré à 10 fr. maximum de ce qu'il peut coûter, nous aurons pour emplacement correspondant à un forgeron : 3000 fr.

2° *Bâtisses.*

Nous avons en espace couvert pour un forgeron :

				m. q.		m. q.
1°	Forge.	1	×	25	=	25
2°	Fonderie	1.5	×	50	=	50
3°	Chaudronnerie . .	0.8	×	25	=	20
4°	Ajustage	2	×	20	=	40
5°	Montage.	0.2	×	100	=	20
				Total. . .		155 m. q.

Net. . . . 150 mètres quarrés.

Si nous nous en rapportons aux renseignements que nous ont procurés diverses constructions dont nous avons été chargés, nous trouvons qu'à très-peu près, pour usines, la dépense en bâtisses surmontées d'un étage, simples de construction, mais solides, est de 40 fr. en moyenne par mètre quarré de surface.

D'après ce, les frais de bâtisse pour un forgeron s'élèveraient à 150 × 40 = 6000 fr., y compris les murs de clôture.

Ajoutant les 3000 fr. d'emplacement, nous avons pour immeuble, un total de 9000 fr.

RÉSUMÉ DE LA FABRICATION.

Pour 1 forgeron.

Il y a 5 ouvriers et 5 manœuvres, total : 10 ouvriers à 2 fr. 70 par jour, faisant pour 25 jours ou 1 mois :

$$10 \times 2 \text{ fr. } 70 \times 25 = 675 \text{ fr.}$$

Il y a un mobilier de 25000 f. coûtant par an :

1° Intérêts de 25000 fr. à 5 pour 100. . .	1250 f.
2° d'usé et réparations.	2500
Total. . . .	3750 f.

$$\frac{3750}{12} = 312 \text{ f. } 50 \text{ par mois.}$$

Il y a un immeuble de 9000 fr. coûtant par an :

1° Intérêts de 9000 f. à 5 pour 100	450 f.
2° Usé et réparations.	450
Total. . . .	900 f.

$$\frac{900}{12} = 75 \text{ f. par mois.}$$

Donc, dépenses par mois :

Main-d'œuvre.	675 f. 00
Mobilier.	312. 50
Immeuble	75. 00
Total. . . .	1062 f. 50

Si, à cette dépense, nous ajoutons une centaine de francs pour les frais d'outils, accessoires, tels que marteaux, burins et limes d'ajusteurs, éclairage, chauffage, etc., nous aurons un total de 1200 f. net par forgeron et par mois.

D'autre part nous avons pour produits confectionnés :

455 kil. fer monté en pièces de machines.
4200 *id.* fonte montée *id.* *id.*

250 kilog. tôle chaudronnée se décomposant en :

180 k. tôle de fer.
70 k. tôle de cuivre.

Si nous supposons les déchets comme suit :

Fer.	20 p. 100.
Fonte.	15 *idem*.
Tôle de fer. . . .	10 *idem*.
Tôle de cuivre. . .	5 *idem*.

Nous aurons pour consommation en matières brutes :

Fer.	546 k.	à	0 f. 50	=	273 f.
Fonte.	4830	à	0. 25	=	1210
Tôle de fer. . .	198	à	0. 80	=	158
Tôle de cuivre.	74	à	3. 00	=	222

La main-d'œuvre pour 1 kilog. de fer fini étant égale à 8 fois la main-d'œuvre pour 1 kilog. de fonte, 455 kilog. fer fini représentent 455 × 8 = 3640 kilog. fonte ajustée.

La main-d'œuvre pour 1 kilog. de tôle chaudronnée étant égale à 5 fois la main-d'œuvre pour 1 kilog. de fonte, 250 kilog. tôle représentent 5 × 250 = 1250 kilog. fonte ajustée.

On a donc :

1°	3640	kilog. fonte.
2°	4200	*idem*.
3°	1250	*idem*.
Total. . . .	9090	kilog.

coûtant 1200 fr. de frais de fabrication, ou $\frac{1200}{9090}$ = 0f.11 par kilogramme.

D'après ce :

1 kilog. *fer ajusté* coûte, en moyenne :

1° Matière première. . . . . . $\frac{273}{455}$ = 0f. 60

2° Main-d'œuvre, mobilier, immeubles, fournitures diverses. . . . . 8 × 0.11 = 0. 88

Total. . . . 1f. 48

Net. . . 1 fr. 50.

1 kilog. *fonte ajustée* coûte, en moyenne :

1° Matière première. . . . $\frac{1210}{4200}$ = 0 f. 288

2° Frais de fabrication. . . . . . = 0. 110

Total. . . . 0 f. 398

Net. . . . 0 fr. 40.

1 kilog. *tôle* de *fer* chaudronnée coûte, en moyenne :

1° Matière première. . . . . $\frac{158}{180}$ = 0 f. 88

2° Frais de fabrication 5 × 0.11 = 0. 55

Total. . . . 1 f. 43

Net. . . . 1 fr. 43.

1 kilog. *tôle* de *cuivre* chaudronnée coûte, en moyenne :

1° Matière première. . . . $\frac{222}{70}$ = 3 f. 18

2° Frais de frabrication 5 × 0.11 = 0. 55

Total. . . . 3 f. 73

Net. . . . 3 fr. 75.

non compris les frais d'administration et de direction.

ARTICLE II. — DIRECTION.

§ 1er. *Personnel.*

Le personnel de la direction se compose de :

1	directeur pour un nombre quelconque de forgerons.		
1	ingénieur pour.	20	*idem*.
1	dessinateur pour.	10	*idem*.
1	contre-maître de la forge pour. . .	20	*idem*.
1	*idem* des modèles pour. . . .	40	*idem*.
1	*idem* de la fonderie pour. . .	40	*idem*.
1	*idem* de la chaudronnerie pour	20	*idem*.
1	*idem* de l'ajustage pour. . .	20	*idem*.
1	*idem* du montage pour. . . .	100	*idem*.

D'où résulte que le personnel de la direction se compose le plus généralement de :

	Appointements par an.
1 directeur.	10000
1 ingénieur.	3000
2 dessinateurs.	3000
6 contre-maîtres.	12000
Total. . . .	28000 fr.

$$\frac{28000}{12} = 2333 \text{ f. } 33 \text{ par mois.}$$

§ 2. *Mobilier.*

Il se compose d'une série d'outils spéciaux peu nombreux : livres, tables et accessoires de bureaux, que l'on peut évaluer à 5000 fr. correspondant à une dépense annuelle de 500 f. tant pour l'intérêt que l'usé, et par mois 41 fr. 66.

§ 3. *Immeuble.*

Il peut être évalué à un espace de 25 mètres quarrés par tête ou 25 × 10 = 250 mètres quarrés à 10 fr. = 2500 f.

Plus 250 mètres quarrés de construction à 40 fr. = 250 × 40. . . . . = 10000

Total. . . . 12500 f.

coûtant par an 1250 fr., et par mois 104 fr.

Résumé de la direction.

Personnel.	2333 f. 33
Mobilier.	41. 66
Immeuble.	104. 00
Total. . . .	2478 f. 99

2479 f. par mois, qui, avec les fournitures de bureau, font un total de 2500 f.

ARTICLE III. — ADMINISTRATION.

§ 1er. — *Personnel.*

Le personnel de l'administration se compose de :

1 administrateur pour un nombre quelconque de forgerons.
1 caissier, *idem*.
1 comptable pour correspondance et grand-livre, *idem*.
1 *id.* pour journal, factures et copie de lettres *idem*.
1 garde-magasin des matières brutes, *idem*.
1 garde-magasin des matières confectionnées et chargé de l'expédition, *idem*.

Faisant ensemble par an :

1 administrateur.	10000 f.
1 caissier et un comptable	6000
1 comptable et deux garde-magasins .	6000
Total. . . .	22000 f.

$\frac{22000}{12}$ = 1830 f. par mois.

§ 2. *Mobilier.*

Le mobilier de l'administration peut, comme celui de la direction, s'évaluer, en moyenne, à 5000 f., faisant une dépense de 41 f. 66 par mois.

§ 3. *Immeuble.*

A 25 mètres quarrés par individu, il se compose de :

6 × 25 = 150 m. q. terrain à 10 f. . . .	1500 f.
150 *id.* bâtisse à 40 f. . . .	6000
Total. . . .	7500 f.

7500 f. à 10 pour 100 font 750 f. par an, et, par mois, $\frac{750}{12}$ = 62 fr. 50.

Résumé de l'administration.

Personnel.	1830 f.
Mobilier.	41. 66
Immeuble.	62. 50
Total. . . .	1934 f. 16 par mois,

que l'on peut porter à 2000 f. avec les fournitures de bureau.

Resumé général de la composition de l'usine.

Le capital d'établissement doit être :

Pour fabrication. .	34000 f.	par forgeron.	
direction. . .	17500	p. un nomb. quelc. de	*id*
administration	12500	*id.*	*id.*

Il se produit par mois et par forgeron :

455 kilog. fer fini,
4200 *id.* fonte *id.*
250 *id.* tôle *id.*

Le fer fini revenant	à 1 f. 50	le kilog.	
La fonte finie —	à 0. 40	*id.*	
La tôle de fer —	à 1. 45	*id.*	
La tôle de cuivre —	à 3. 75	*id.*	

non compris les frais de direction ni d'administration, dits frais généraux.

Admettant que ces frais, qui sont en total par mois de 4500 f., se répartissent sur les matières ci-dessus, dans le rapport des frais de fabrication, c'est-à-dire soient 8 fois plus considérables pour le fer, et 5 fois pour les tôles que pour la fonte, nous aurons :

455 k. fer = 455 × 8 = 3640 k. fonte.
250 tôle = 250 × 5 = 1250
4200 fonte = = 4200

Total. . . . 9090 k.

S'il n'y a qu'un forgeron, 9090 kilog. fonte coûtent, en frais généraux, 4500 f.;

donc :
1 kilog. fonte 0 f. 50
1 kilog. tôle 2. 50
1 kilog. fer 4. 00

De là la proportion :

Pour un forgeron, les frais généraux par kilog. de fer ou fonte, sont 4 f. 00 ou 0 f. 50, pour *n* forgerons, combien seront-ils ? et le tableau suivant :

NOMBRE de forgerons	FRAIS GÉNÉRAUX			PRIX DE REVIENT MOYEN DE 1 KIL.				CAPITAL d'établissement.
	par kilog. de fer.	par kilog. de fonte.	par kilog. de tôle.	Fer ajusté.	Fonte ajustée.	Tôle de fer.	Tôle de cuivre.	
	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.
1	4.000	0.500	2.500	5.50	0.90	3.95	6.25	64000
5	0.800	0.100	0.500	2.30	0.50	1.95	4.25	200,000
10	0.400	0.050	0.250	1.90	0.45	1.70	4.00	370,000
15	0.270	0.035	0.167	1.77	0.44	1.62	3.92	540,000
20	0.200	0.025	0.125	1.70	0.43	1.58	3.88	710,000
25	0.160	0.020	0.100	1.66	0.42	1.55	3.85	880,000
30	0.135	0.017	0.084	1.64	0.42	1.54	3.84	1,050,000
35	0.115	0.014	0.072	1.62	0.42	1.52	3.82	1,220,000
40	0.100	0.013	0.063	1.60	0.42	1.51	3.81	1,390,000
45	0.089	0.011	0.056	1.59	0.42	1.51	3.81	1,545,000
50	0.080	0.010	0.050	1.58	0.41	1.50	3.80	1,730,000

SECTION DEUXIÈME.

Organisation du travail.

ARTICLE 1er. — ASSEMBLAGES.

Jusqu'ici, la construction des machines à vapeur a *été* aussi éloignée que possible des principes qui servent de base généralement à la fabrication, par suite de la diversité qui existe dans les *espèces*, *systèmes et dimensions* de ces dernières, pour satisfaire à toutes les conditions locales et économiques imposées par les industriels qui veulent en faire usage. Aussi, en est-il résulté que, en France du moins, on n'a pu y constater encore que des exemples très-rares de bénéfices importants.

Ce mal, qui existera toujours à un certain degré, parce que la consommation des machines n'est pas assez généralement répandue pour que chaque constructeur la renferme dans un ou plusieurs systèmes déterminés comme dans une ou plusieurs espèces et dimensions, peut diminuer considérablement d'intensité par l'introduction, dans le travail des ateliers, de méthodes d'application fort simples, que la seule vue de ce qui existe fait concevoir aux esprits d'ordre et qui, jusqu'à présent, ont été singulièrement négligées.

En effet, une machine considérée comme objet de fabrication se compose de *parties;*

Les parties se composent de *pièces ;*

Les pièces se divisent en :

Pièces spéciales dont les formes et dimensions sont déterminées d'après les fonctions que doit remplir la machine;

Pièces *générales*, servant d'intermédiaires aux premières et variant de formes et dimensions suivant les modes et dimensions des assemblages de ces pièces.

Or, les modes d'assemblages, loin d'être infinis, sont excessivement restreints, et il est de très-mauvais goût de chercher à en augmenter le nombre, si on ne fait mieux que ce qui existe; si, donc, nous connaissons la série des formes que présentent le plus généralement les pièces spéciales aux points d'assemblages, nous pouvons immédiatement établir le nombre d'espèces différentes de pièces générales employées dans les machines.

A cet effet, nous remarquerons que l'on peut toujours faire

dériver les sections transversales des pièces spéciales, aux points d'assemblages, de l'un des trois types suivants :

1° Rectangle.
2° Quarré.
3° Cercle.

De plus, les assemblages se font généralement suivant l'une des deux positions relatives suivantes :

1° Debout.
2° D'équerre.

De là 12 assemblages principaux différents, savoir :

1°	Rectangle	avec	rectangle,	debout.
2°	Rectangle	avec	rectangle,	d'équerre.
3°	Rectangle	avec	quarré,	debout.
4°	Rectangle	avec	quarré,	d'équerre.
5°	Rectangle	avec	cercle,	debout.
6°	Rectangle	avec	cercle,	d'équerre.
7°	Quarré	avec	quarré,	debout.
8°	Quarré	avec	quarré,	d'équerre.
9°	Quarré	avec	cercle,	debout.
10°	Quarré	avec	cercle,	d'équerre.
11°	Cercle	avec	cercle,	debout.
12°	Cercle	avec	cercle,	d'équerre.

1° *Rectangle avec rectangle debout.*

Les sections rectangulaires constituent généralement les pièces dites plates et s'assemblent par superposition des extrémités au moyen de *boulons* ou de *rivets*, suivant que les pièces assemblées sont destinées à être séparées plus tard ou unies pour toujours.

Pour ces raisons le *boulon* est la pièce d'assemblage, par excellence, pour les pièces plates des machines, et le *rivet* pour les chaudières.

Lorsque l'une des deux pièces plates assemblées est mobile, et l'autre fixe, le mouvement de la première ne peut être que circulaire alternatif, et l'assemblage se fait au moyen d'une *charnière*.

2° *Rectangle avec rectangle d'équerre.*

Cet assemblage très-usité en menuiserie et charpenterie est presque rejeté complètement des machines bien construites, et se remplace soit par une *soudure*, pour le fer, soit par l'as-

semblage précédent, pour le fer et la fonte, au moyen d'un retour d'équerre pratiqué à angle droit dans l'une des deux pièces à assembler.

3° *Rectangle avec quarré, debout.*

Dans ce cas il y a déformation de l'extrémité de l'une des pièces pour qu'elle présente la même section que l'autre au point d'assemblage. Suivant les cas, c'est le rectangle ou le quarré qui se modifie.

4° *Rectangle avec quarré, d'équerre.*

Pour fer sur fer, il y a soudure ou *rivure* sur *embase*.

Pour fonte sur fonte, il y a déformation de la pièce quarrée, qui devient rectangulaire recourbée à angle droit et se ramenant au 1er cas.

Pour fer sur fonte, il y a forage de la fonte *pyramidalement*, *coniquement* ou *cylindriquement* avec embase et assemblage à *clavette* ou à *écrou*, serrant le fer qui affecte extérieurement la même forme que la fonte intérieurement.

5° *Rectangle et cercle, debout.*

Même cas que n° 3.

6° *Rectangle avec cercle, d'équerre.*

Pour fer sur fer, il y a *soudure*, *rivure* avec *embase* ou épatement rectangulaire du rond ramenant au 1er cas.

Pour fonte sur fonte, il y a épatement comme ci-dessus.

Pour fer sur fonte il y a même assemblage que n° 4, avec les mêmes métaux combinés.

7° *Quarré avec quarré, debout.*

L'assemblage s'opère au moyen d'un *manchon*.

8° *Quarré avec quarré, d'équerre.*

L'assemblage s'opère au moyen d'un *étrier* à *clavettes* ou *chape quarrée*.

9° *Quarré avec rond, debout.*

Le quarré passe au rond par un octogone régulier et s'assemble par une *douille* placée sur l'une des deux pièces.

10° *Quarré avec rond, d'équerre.*

Si c'est le quarré qui porte par son extrémité sur le rond, l'assemblage se fait au moyen d'une *chape* à tête *ronde*, quand les deux pièces sont fixées l'une à l'autre; à coussinets, quand l'une est mobile.

Si, au contraire, c'est le rond qui porte par son extrémité sur le quarré, l'assemblage est ramené à celui n° 8, soit par une conversion du rond en quarré, soit par une douille à section extérieure quarrée dont on revêt le rond.

11° *Rond avec rond, debout.*

L'assemblage s'opère au moyen d'une *douille*. Si l'une des deux pièces est mobile transversalement, alors la douille est munie d'une *charnière*.

12° *Rond avec rond, d'équerre.*

Si les deux pièces sont fixées l'une à l'autre, l'assemblage se fait au moyen d'un T.

Si l'une des deux pièces est mobile, celle dont l'extrémité porte sur le corps de l'autre est terminée par un quarré ou munie d'une douille à section extérieure quarrée, l'assemblage se fait alors au moyen d'une *chape à coussinets*.

Résumant les résultats que nous venons d'obtenir, nous trouvons que les pièces principales d'assemblage sont au nombre de huit, savoir :

Les boulons et rivets ;
Les clavettes ;
Les chapes et étriers ;
Les coussinets ;
Les douilles ;
Les charnières ;
Les manchons ;
Les T.

Outre les assemblages, dans les machines, il existe des pièces accessoires dont les fonctions sont de soutenir les pièces principales en mouvement ; ces pièces accessoires se nomment *supports*. Lorsque les pièces principales sont douées du mouvement circulaire, soit continu, soit alternatif, le support est à *chapeau* et *coussinets* ; dans le cas où la pièce principale est douée du mouvement rectiligne alternatif, le support affecte plusieurs formes qui varient, suivant la nature des pièces, et constituent un *support guide* ou simplement un *guide*.

Il se présente aussi un cas dans les machines où une pièce, généralement ronde, est en relation de mouvement avec deux pièces situées dans des milieux différents, et dont la communication doit être complètement interrompue. L'appareil

dont on garnit l'orifice par lequel passe cette pièce, dans ce cas, se nomme *stuffing-box*.

Enfin, parmi tous les moyens employés dans les machines pour convertir le mouvement rectiligne alternatif en circulaire continu ou alternatif, il en est un très-simple et tellement usité, le *levier*, que nous croyons devoir le mettre au nombre des pièces ci-dessus énoncées.

De tout ceci résulte que, de quelque espèce que soient, en mécanique théorique, toutes les pièces ci-dessus énoncées, il est constant pour nous qu'elles sont généralement employées dans la construction des machines, et c'est pour cette raison que nous les avons désignées sous le nom commun de *pièces générales;* nous allons maintenant les étudier.

Les pièces générales des machines se divisent en deux classes distinctes, qui sont :

1° Pièces dont les dimensions peuvent se déterminer *à priori*, d'après la valeur connue de l'une quelconque d'entre elles.

2° Pièces dont certaines dimensions seulement sont connues *à priori*, et dont les autres dépendent des positions relatives des pièces spéciales.

Les premières sont :

1° Les chapes, coussinets et clavettes;
2° Les stuffing-box;
3° Les douilles;
4° Les charnières ou fourchettes;
5° Les manchons;
6° Les T de tiges.

Les dernières sont :

1° Les boulons et écrous;
2° Les supports et les guides;
3° Les leviers.

PREMIÈRE CLASSE.

1° *Chapes, coussinets et clavettes.*

Dans la conversion du mouvement circulaire continu ou alternatif en rectiligne alternatif, au moyen du levier et de la bielle, le centre du point d'assemblage de la manivelle ou levier est forcément une pièce ronde douée de deux mouvements circulaires, l'un autour du centre de rotation,

l'autre sur elle-même dans la tête de la bielle. Ce second mouvement établit un frottement dont le résultat est l'usure des pièces en contact. Lorsque ce frottement est considérable, il faut aviser au moyen de remplacer facilement les pièces qui s'usent, et pour cela on garnit les têtes de bielles de coussinets maintenus en place par des chapes.

Un coussinet est une pièce en métal plus susceptible de s'user par le frottement que celui du tourillon avec lequel il est en contact. Les tourillons des machines sont généralement en fer quand leur diamètre ne dépasse pas 150 millimètres. Au-dessus de ce point on les fait soit en fer, soit en fonte, suivant les cas, mais jamais en cuivre, parce que ce dernier métal coûte infiniment plus cher que les deux autres et résiste beaucoup moins qu'eux.

Cette propriété du cuivre, d'être plus doux que le fer et la fonte, fait qu'on l'emploie, en majeure partie, à faire des coussinets; par ce moyen, les tourillons se conservent intacts, le coussinet seul s'use, ce qui exige qu'il puisse se changer facilement. Afin que cette opération soit aussi économique que possible, on ne donne au coussinet juste que les dimensions qui lui sont indispensables, d'où résulte qu'il constitue généralement un poids assez faible. Il y a deux coussinets par tourillon, embrassant ce dernier chacun d'une demi-circonférence, moins un petit espace ménagé pour le serrage à mesure qu'ils s'usent. Ces deux coussinets sont embrassés eux-mêmes par une chape en fer, s'assemblant avec l'extrémité de la bielle au moyen d'une *clavette* et d'une *contre-clavette*.

La figure 7 (Pl. IX) représente l'ensemble d'une chape et de ses coussinets. La forme en ogive que possède l'extérieur du coussinet supérieur a pour but de l'empêcher de tourner avec le tourillon.

D'après les cotes figurées dans ce dessin, on remarque que, étant donné, le diamètre du tourillon d'assemblage, toutes les dimensions de la chape et des coussinets sont déterminées. Il est bon de prévenir néanmoins que cela n'a lieu rigoureusement que depuis 21 millimètres jusqu'à 100 millimètres inclusivement; au-delà de ces termes, soit en dessous, soit en dessus, les proportions des joues et des épaisseurs des coussinets sont ou trop faibles ou trop fortes; toutes les autres dimensions sont bonnes.

Construction.

1° *Chape et clavettes.* Le forgeron prend une barre de fer plat d'une largeur et d'une épaisseur supérieures à celles de la chape ; il la met au feu, la bat, lui laisse les trois renflements indiqués dans le dessin et la met de largeur. Ensuite, il prend un mandrin en fonte ayant la forme intérieure de la chape et fixé à l'extrémité d'une barre de fer au moyen de laquelle on le soutient ; puis il courbe la chape à chaud dessus. Quand cette opération est terminée, il finit son ouvrage en présentant de temps à autre un calibre en tôle dont la forme est celle de la chape vue de face. Le mandrin et le calibre ont des dimensions telles qu'il reste quelque chose à enlever à l'ajusteur.

A l'ajustage, la chape subit d'abord l'opération du rabot qui lui donne 1° sa largeur, suivant l'axe du tourillon = 1 ; 2° sa largeur transversale aux plats = 1, 6. Après le rabot vient la machine à parer qui finit l'extérieur et l'intérieur ; cela dans le cas seulement où l'on est sûr que les coussinets seront bien faits comme le dessin. Le travail de la machine à parer terminé, on perce une série de petits trous à l'endroit de la mortaise des clavettes, et la chape passe à l'ajusteur finisseur qui termine ces mortaises d'abord au burin, ensuite au moyen d'un mandrin en acier ayant une section égale à celle de la mortaise.

Les clavettes sont forgées, rabotées et finies sans aucun outil particulier.

2° *Coussinets.* Ils sont d'abord modelés, puis envoyés à la fonderie en cuivre. Arrivés à l'ajustage, il sont finis extérieurement, l'un sur le tour, l'autre sur la machine à raboter, et envoyés à l'ajusteur qui les assemble dans la chape. Quand ils y sont, on rabote les joues des deux côtés, puis on alèse : après l'alésoir, l'ajusteur finisseur donne le dernier coup de lime.

En résumé, une chape et ses coussinets nécessitent six outils spéciaux qui sont :

Le mandrin du forgeron ;
Le calibre *id.*
Le mandrin de l'ajusteur ;
Les 2 modèles de coussinets ;
La lame de l'alésoir.

Autant de chapes différentes on fera, autant de fois il faudra faire ces six outils.

Pour ces raisons, il est bon d'adopter un nombre de dimensions d'où l'on ne sort pas, et qui, tout en économisant et accélérant la main-d'œuvre, permet de fabriquer à l'avance et à l'entreprise, et fait connaître exactement le prix de revient d'une pièce.

La série des diamètres des chapes de bielle est la suivante.

	Poids.	
Millim.	Fer.	Cuivre.
N° 21	0k.20	0k.10
25	0. 30	0. 15
30	0. 55	0. 275
35	0. 85	0. 425
40	1. 20	0. 60
45	1. 80	0. 90
50	2. 50	1. 25
55	3. 25	1. 625
60	4. 20	2. 10
65	5. 40	2. 70
70	6. 70	3. 35
75	8. 20	4. 10
80	10. 00	5. 00
85	12. 00	6. 00
90	14. 20	7. 10
95	17. 00	8. 50
100	20. 00	10. 00

Quant à la main-d'œuvre, nous dirons qu'un bon forgeron et son frappeur peuvent faire une chape n° 100 avec ses clavettes en un jour. Une journée de ces deux ouvriers fait 5 fr. + 2 fr. = 7 fr.

$$20\text{k. fer} : 7\text{ f.} :: 1\text{k.} : x = 0\text{f. }35.$$

prix un peu au-dessous du prix moyen de la forge 0f. 3725.

A l'ajustage, cette pièce se finit à l'entreprise, y compris les coussinets, pour 15 f., ce qui correspond à 0 fr. 50 le kilog., au lieu de 0 f. 396, indiqué comme main-d'œuvre moyenne. La main-d'œuvre des coussinets à la fonderie,

évaluée à 0 f. 50, correspond à 0 f. 05 le kil., prix très-rapproché de 0 f. 0515 indiqué comme prix moyen ; on a donc :

1° 20 k.	à 0 f. 35	7 f. 00
2° 10	à 0. 05	0. 50
3° 30	à 0. 50	15. 00
		22 f. 50

Si on évalue à moitié de cette somme l'usure des outils et l'intérêt des mandrins et calibres spéciaux pour cette pièce, on aura en somme ronde 35 f. pour la main-d'œuvre d'une chape et ses coussinets n° 100. Pour le même prix on fera cinq chapes et coussinets n° 21 : ce dernier numéro coûtera donc 7 fr. la pièce. Insérant, entre 7 et 35, 15 moyens géométriques et non pas arithmétiques, parce que les poids sont proportionnels aux dimensions qui sont elles-mêmes en proportion géométrique pour chaque pièce, nous aurons, en admettant que { 1 k. fer brut vaut 0 f. 50 / 1 cuivre brut. 3 .00

Prix de revient de 1 chape et ses coussinets.

	Fer.	Cuivre.	Main-d'œuvre.	Somme.
N° 21	0 f. 10	0 f. 30	7 f. 00	7 f. 40
25	0. 15	0. 45	8. 00	8. 60
30	0. 275	0. 825	8. 50	9. 60
35	0. 425	1. 28	9. 50	11. 20
40	0. 60	1. 80	10. 50	12. 90
45	0. 90	2. 70	11. 50	15. 10
50	1. 25	3. 75	13. 00	18. 00
55	1. 625	4. 90	14. 00	20. 50
60	2. 10	6. 30	15. 50	23. 90
65	2. 70	8. 10	17. 00	27. 80
70	3. 35	10. 00	19. 00	32. 35
75	4. 10	12. 30	21. 00	37. 40
80	5. 00	15. 00	23. 00	43. 00
85	6. 00	18. 00	25. 50	49. 50
90	7. 10	21. 25	28. 00	56. 35
95	8. 50	25. 50	31. 00	65. 00
100	10. 00	30. 00	35. 00	75. 00

non compris les frais généraux.

2° *Stuffing-box.*

Le nom de cette pièce, tiré de l'anglais, signifie boîte étouffante : c'est en effet une boîte munie d'un couvercle, percée, ainsi que ce dernier, d'un trou rond d'un diamètre égal à celui de la tige qui doit la traverser, et garnie intérieurement d'étoupes suiffées et serrées, dont le but est d'empêcher la communication entre l'intérieur et l'extérieur de la pièce à laquelle elle est adaptée.

Généralement la boîte de stuffing-box se coule avec cette pièce; le couvercle seul est rapporté et peut se constituer en séries, comme les chapes de bielles; c'est lui seul que nous considérerons ici.

Un couvercle de stuffing-box est une pièce ronde, tournée extérieurement et alésée intérieurement, munie à l'une de ses extrémités d'un rebord plat de dimension suffisante, en certains points, pour supporter l'assemblage d'un boulon et son écrou. Généralement le serrage des stuffing-box s'opère au moyen de deux boulons opposés, comme on peut le voir représenté dans la fig. 9 (planche IX).

Il n'est pas aussi facile de déterminer les dimensions proportionnelles des différentes parties d'un stuffing-box que d'une chape et de ses coussinets, parce que ces parties ne croissent pas proportionnellement au diamètre. Nous avons coté dans le dessin les parties qui peuvent l'être; nous allons déterminer ici, pour différents diamètres intérieurs :

1° Le diamètre extérieur;

2° Le diamètre des boulons.

La série des stuffing-box part de 0m.010 et va jusqu'à 0m.160 pour de fortes machines. De 0m.010 à 0m.08 les stuffing-box sont ordinairement en cuivre, et de 0,08 à 0.16 on les fait en fonte. Comme dans les locomotives à 60 centimètres de diamètre au cylindre on ne dépasse pas 0m.10, nous examinerons seulement de 0m.01 à 0m.10, en les supposant tous en cuivre, et nous aurons ;

Diamètre de la tige ou intérieur.	Diamètre extérieur.	Diamètre des boulons.	Poids. Cuivre.	Poids. Fer des boulons.
millim.	millim.	millim.	k.	k.
N° 10	30	10	0.20	0.10
12	35	10	0.35	0.20
15	40	10	0.60	0.40
18	45	12	0.80	0.65
21	50	12	1.00	0.85
25	55	12	1.60	1.00
30	65	15	2.30	1.15
35	70	15	3.10	1.35
40	75	15	4.00	1.50
45	85	18	4.60	1.70
50	90	18	5.25	2.00
55	95	18	6.00	2.50
60	100	21	8.00	2.90
65	110	21	11.00	3.40
70	120	21	15.00	4.00
75	130	25	19.00	4.50
80	130	25	23.00	5.25
85	140	25	28.00	6.00
90	150	30	33.00	7.00
95	150	30	38.00	8.00
100	160	30	45.00	9.00

La construction du stuffing-box est simple; elle consiste à faire un modèle en bois sur lequel le fondeur en cuivre moule sa pièce, puis, à l'ajustage, le tourneur finit tout l'extérieur, sauf le rebord qui n'est pas rond. Quand le stuffing-box ne dépasse pas 30 millimètres intérieurs, il profite de ce qu'il l'a sur le tour pour l'aléser ; au-delà c'est l'alésoir qui fait ce trou. Après cette opération l'ajusteur finisseur présente le stuffing-box dans sa boîte, qui a été préalablement alésée et dans laquelle les trous des boulons ont été ménagés. Si le stuffing-box va bien, il trace les trous des boulons et envoie percer; pendant ce temps, il ajuste les boulons qui sont *taraudés* ou *assemblés à clavette* dans la boîte. Le stuffing-box percé, on l'assemble avec sa boîte, place les écrous et finit le rebord qui n'a pas été fait par le tourneur ; il faut ménager cette opération pour la dernière, afin d'être sûr que la surface extérieure de la boîte et du

stuffing-box seront bien dans le prolongement l'une de l'autre après la pose des boulons.

Les seuls outils spéciaux pour les stuffing-box sont : le modèle, les lames d'alésoirs et le foret; mais il est bon de remarquer, pour ces dernières pièces, que, d'après la disposition de nos séries, ce sont toujours les mêmes diamètres de trous qui se présentent, et que, par conséquent, ces outils, le foret et l'alésoir, servant pour toute espèce de pièces, sont plutôt généraux que spéciaux.

Où la main-d'œuvre est le plus considérable dans ces pièces, c'est à l'ajustage, quand il s'agit de les assembler avec la boîte.

On emploie le taraudage dans la fonte pour les boulons au-dessous de 25 millimèt.; à 25 millim. on met des clavettes.

En supposant les stuffing-box fabriqués à l'avance et prêts à se placer dans les boîtes, à mesure qu'on les confectionne avec d'autres pièces, le rebord n'étant pas fait, le travail se compose seulement du fondage, du tournage et de l'alésage.

Evaluant :	la fonderie à	0f.050	le kilog.
	le tour à . .	0. 032	*id.*
	l'alésoir à. .	0. 010	*id.*
		0. 092	

pour un stuffing-box n° 100; le prix de la main-d'œuvre de ce stuffing-box sera 4 fr. 25 c. brut, et 5 fr. net, y compris les frais de modèle et l'usure des outils. Estimant le travail de 1 stuffing-box n° 10 égal au $^1/_5$ de celui-ci, nous aurons comme pour les chapes et coussinets de bielle.

Prix de revient de 1 stuffing-box.

Diamètre intérieur.	Fer. fr.	Cuivre. fr.	Main-d'œuvre. fr.	Somme. fr.
N° 10	0.05	0.60	1.00	1.65
12	0.10	1.05	1.09	2.25
15	0.20	1.80	1.19	3.20
18	0.35	2.40	1.30	4.05
21	0.45	3.00	1.42	4.90
25	0.50	4.80	1.55	6.85
30	0.60	6.90	1.68	9.20
35	0.70	9.30	1.82	11.80
40	0.75	12.00	1.99	14.75
45	0.85	13.80	2.17	16.90
50	1.00	15.80	2.36	19.15

Diamètre intérieur.	Fer. fr.	Cuivre. fr.	Main-d'œuvre. fr.	Somme. fr.
Nº 55	1.25	18.00	2.57	21.80
60	1.45	24.00	2.80	28.25
65	1.70	33.00	3.05	37.75
70	2.00	45.00	3.32	50.30
75	2.25	57.00	3.62	62.85
80	2.75	63.00	3.95	69.70
85	3.00	84.00	4.30	91.30
90	3.50	99.00	4.50	107.00
95	4.00	114.00	4.75	122.75
100	4.50	135.00	5.00	144.50

non compris les frais généraux.

3º *Douilles.*

Les douilles, fig. 19 (planche IX), sont des appareils destinés à relier ensemble des tiges cylindriques placées dans le prolongement l'une de l'autre, lorsque ces pièces sont susceptibles d'être séparées, pour certaines opérations de la machine.

Elles se construisent toujours en fer et sont de deux espèces : ou les tiges se meuvent toutes deux rigoureusement en ligne droite, ou l'une d'elles est douée d'un mouvement circulaire, soit continu, soit alternatif, par son extrémité opposée à l'assemblage, en communiquant, soit avec une manivelle, soit avec un balancier ou un levier.

Dans le premier cas, la douille est soudée à l'une des tiges; dans le second, elle s'assemble avec elle à *charnière*, portant toujours la partie mâle de cette dernière. Les douilles à charnières sont celles que l'on emploie le plus, et comme elles peuvent se finir complètement d'avance, elles constituent des pièces de séries.

Pour faire une douille, un forgeron prend une barre de fer plat et l'enroule à chaud sur un mandrin ayant le diamètre intérieur de la douille, et soude à 45 degrés les deux rebords qui viennent se rencontrer. Ensuite il prend une pièce de fer rond dont il soude l'extrémité à l'une des deux extrémités du cylindre qu'il vient de faire; c'est cette pièce rapportée qui sert à faire la tête de la douille. Il coupe et martelle ensuite jusqu'à temps qu'il ait obtenu la forme demandée; puis il fait les clavettes. A l'ajustage la douille va d'abord chez le tourneur, qui finit toute la partie cylindrique extérieure, qu'il a soin, dans ce cas seulement, de cen-

trer par rapport à l'intérieur, parce qu'on n'alèse pas ces pièces. Quand il a tourné le cylindre, il prépare le travail de la machine à parer, sur la tête, en faisant les deux petites saillies qu'elle possède à cet endroit. La machine à parer termine la tête, et la douille passe à l'ajustage. Là on commence par faire les faces planes de la tête pour tracer le centre et le diamètre de son trou; ensuite on trace la place de la mortaise des clavettes. On porte au foret qui fait ces trous, et on finit. La mortaise des clavettes se termine, comme celle des chapes de bielle, au moyen d'un mandrin en acier. En ayant soin de faire les mortaises égales pour des diamètres de trous égaux, les mêmes mandrins servent dans les deux cas. Les clavettes sont terminées au rabot et à l'ajustage.

Dans les douilles, comme dans les chapes de bielle, toutes les dimensions sont proportionnelles, et, connaissant le poids de l'une d'entre elles, on aura le poids de toutes les autres par la proportion :

$$P : P' :: D^3 : D'^3.$$

On obtient ainsi :

Diamètre.	Poids.
	k.
N° 10	0.05
12	0.08
15	0.16
18	0.28
21	0.44
25	0.73
30	1.30
35	2.00
40	3.00
45	4.26
50	5.85
55	7.70
60	10.00
65	12.80
70	16.00
75	19.80
80	24.00
85	28.70
90	34.00
95	40.00
100	46.80

Le travail à la forge, pour les douilles, est long et difficile. Un bon forgeron met 2 jours $^1/_2$ à faire une douille n° 100 avec ses clavettes, donc :

1° Forgeron.	12f.50
2° Frappeur.	5. 00
La besogne du tour est simple, et évaluée à 0 f. 15 le k.; elle donne, pour le n° 100.	7. 00
La machine à parer évaluée, à 0 fr. 0384 le kilog., donne	1. 80
Le rabot, *id.* à 0f.028 le kilog. . . .	1. 30
Le foret, *id.* à 0. 0304 *id.*	1. 40
L'ajustage, *id.* à 0. 208 *id.*	9. 75
Total. . . .	38f.75

Mettons 40 fr. en nombre rond, et supposant que le travail d'une douille n° 10 est le $^1/_5$ de celui d'une n° 100, nous obtiendrons, pour prix de revient de ces pièces confectionnées :

Diamètre.	Fer.	Main-d'œuvre.	Somme.
	fr.	fr.	fr.
N° 10	0.025	8.00	8.00
12	0.04	8.70	8.75
15	0.08	9.45	9.55
18	0.15	10.05	10.20
21	0.22	11.20	11.40
25	0.37	12.20	12.55
30	0.65	13.20	13.85
35	1.00	14.40	15.40
40	1.50	15.60	17.10
45	2.13	17.00	19.10
50	2.92	18.50	21.40
55	3.85	20.00	23.85
60	5.00	21.75	26.75
65	6.40	23.60	30.00
70	8.00	25.60	33.60
75	10.00	28.00	38.00
80	12.00	30.00	42.00
85	14.35	32.00	46.35
90	17.00	35.00	52.00
95	20.00	38.00	58.00
100	23.40	40.00	63.40

non compris les frais généraux.

4° *Fourchettes ou charnières.*

Ces pièces forment généralement la tête des bielles quand ces dernières sont assemblées avec des leviers en fer, ou des douilles, cas dans lesquels le diamètre des tourillons est au maximum de 50 millimètres. L'assemblage à charnière étant susceptible d'usure et de jeu dans les trous d'assemblage, ne peut s'employer que là où le mouvement de la charnière est faible, ou dans les parties où le jeu des tourillons n'a pas d'influence.

Pour rendre dans ces pièces le résultat du frottement le moindre possible, on fait le goujon en acier ainsi que l'intérieur du trou qu'il traverse. Quand le jeu n'a pas d'influence, afin que la charnière ne s'use pas, on la conserve en acier à son intérieur et on fait le goujon en fer; dans ce cas c'est lui seul qui s'use, et on le change quand il est hors de service.

Pour confectionner une charnière, fig. 17 (planche IX), le forgeron a deux méthodes : par la première, il fend l'extrémité d'une barre de fer méplat, et la travaille en plaçant entre les fourchettes un mandrin qui donne la forme intérieure; par la seconde, il contourne sur le mandrin une barre de fer quarrée qu'il aplatit aux élargissements, et rapporte la queue après, au moyen d'une soudure.

La première méthode est la plus solide, mais ne peut s'appliquer que pour des charnières qui ne doivent subir qu'un léger ajustage, parce qu'on ne peut jamais faire disparaître le point de séparation des fourchettes. La seconde, au contraire, est exclusivement employée pour les machines.

Quand le forgeron doit rapporter des garnitures en acier dans les têtes, il faut qu'il perce le trou d'avance; alors il prépare deux petits cylindres en acier qu'il passe dans ces trous, et soude à chaud en passant dans leur intérieur un mandrin qui permet de frapper tout autour de la soudure. Ce travail est long, difficile et très-susceptible de manquer; aussi ne se fait-il que très-rarement.

A l'ajustage, le tour finit le goujon complètement et commence la partie ronde qui est l'origine du corps de la bielle; puis il prépare le travail de la machine à parer, en faisant les petites saillies qui se trouvent à chaque face extérieure des fourchettes. Après le tour vient la machine à parer, dont la besogne est fort peu de chose; puis l'ajustage qui est, lui, assez long et comprend un forage.

Pour déterminer les poids et prix de main-d'œuvre des fourchettes, nous les considérerons seulement jusqu'au commencement de la partie cylindrique. Quand la charnière s'assemble avec une tige sans l'intermédiaire d'une douille, alors on fait la partie mâle comme elle est représentée fig. 18 (planche IX). Son travail est aussi simple que possible, et n'a pas besoin d'explication.

On a pour ces pièces :

Diamètre.	Poids. Fourchette double ou femelle avec goujon.	Poids. Fourchette simple ou mâle.
	fr.	fr.
Nº 10	0.078	0.034
12	0.135	0.0625
15	0.264	0.132
18	0.455	0.2275
21	0.720	0.36
25	1.22	0.61
30	2.10	1.05
35	3.35	1,675
40	5.00	2.50
45	7.10	3.55
50	9.75	4.875
55	13.00	6.50
60	15.80	7.90
65	21.20	10.60
70	26.70	13.35
75	32.70	16.35
80	40.00	20.00
85	48.00	24.00
90	57.00	28.50
95	66.00	33.00
100	78.00	39.00

Quant au prix de revient de la main-d'œuvre, on peut le supposer pour nº 100 :

Forge.	0f. 33 le kilog.
Tour.	0. 10
Machine à parer.	0. 03
Foret.	0. 04
Ajustage.	0. 208
	0. 708

78k. à 70 c. font 54f. 50, net 54 fr.
39k. à 70 c. font . . . . net 27 fr.

Admettant qu'une fourchette n° 10 exige un travail égal au $^1/_{10}$ de celui d'une n° 100, nous formerons le tableau suivant :

	Fourchette double.			Fourchette simple.		
Diamètre.	Fer.	Main-d'œuvre.	Somme.	Fer.	Main-d'œuvre.	Somme.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
N° 10	0.04	5.40	5.45	0.02	2.70	2.75
12	0.07	6.10	6.20	0.03	3.05	3.10
15	0.14	6.85	7.00	0.07	3.45	3.50
18	0.22	7.70	7.95	0.15	3.85	4.00
21	0.36	8.65	9.00	0.18	4.35	4.55
25	0.65	9.70	10.35	0.35	4.85	5.20
30	1.05	10.90	11.95	0.50	5.45	5.95
35	1.67	12.20	13.90	0.85	6.10	6.95
40	2.50	13.70	16.20	1.25	6.85	8.10
45	3.55	15.40	18.95	1.75	7.70	9.45
50	4.88	17.20	22.10	2.45	8.60	11.05
55	6.50	19.30	25.80	3.25	9.65	12.90
60	7.90	21.60	29.50	3.95	10.80	14.75
65	10.60	24.40	35.00	5.30	12.70	18.00
70	13.35	27.40	40.75	6.65	13.70	20.35
75	16.35	30.70	47.05	8.20	15 35	23.55
80	20.00	34.50	54.50	10.00	17.25	27.25
85	24.00	38.70	62.70	12.00	19.35	31.35
90	28.50	43.50	72.00	14.25	21.75	36.00
95	33.00	49.00	82.00	16.50	24.50	41.00
100	39.00	54.00	93.00	19.50	27.00	46.50

non compris les frais généraux.

5° *Manchons*.

Ces pièces sont spécialement destinées aux transmissions de mouvement de rotation pour les arbres régnant sur une grande longueur, ou pour ceux qui tournent tantôt ensemble, tantôt séparément. C'est donc en général en dehors des machines qu'on les emploie, et il ne peut en être question ici que parce qu'ils sont fort en usage dans la construction de l'atelier même, et que le prix de la main-d'œuvre, pour les

confectionner, peut servir de base dans l'évaluation de pièces analogues.

Les manchons sont de deux espèces :

Manchons fixes,
Manchons à embrayage.

Les premiers se construisent tantôt d'une pièce, tantôt de deux. Construits d'une seule pièce, ils présentent l'inconvénient que, si une d'entre elles casse au milieu d'une transmission de mouvement, il faut, pour la remplacer, démonter toute la série d'arbres, soit à droite, soit à gauche; ce, parce que les arbres sont placés bout à bout et munis chacun de deux supports placés à leurs extrémités. On pourrait bien ne mettre qu'un support par arbre, et alors le remplacement du manchon se ferait en sortant légèrement de l'axe l'extrémité libre ; mais cette disposition est très-dangereuse pour les arbres placés un peu haut, en ce que, si le manchon casse, ils sont exposés à tomber sur la tête des ouvriers et à les tuer.

Le manchon double, à deux coussinets serrés par des boulons, est donc préférable. Il est un cas où l'on peut employer très-bien le manchon simple, et ce cas est mis en pratique dans les laminoirs : il consiste à en mettre deux et à avoir, par conséquent, un petit arbre intermédiaire entre les deux arbres principaux destinés à être reliés ensemble. Cet arbre intermédiaire a une longueur égale à celle des deux manchons réunis.

Les manchons à *embrayage* constituent toujours deux pièces portées chacune sur un des arbres et qui doivent communiquer ensemble. L'une des deux est fixe, l'autre est mobile au moyen d'un levier à fourchette, qui se manœuvre à la main. Ce sont deux manchons simples présentant, dans les faces en contact, des pleins et des vides égaux entre eux, et *embrayant* ensemble. On fait toujours ces manchons assez forts parce qu'ils ne présentent pas, pour le remplacement, les inconvénients des manchons simples.

L'assemblage des manchons en général avec les arbres peut être rond, quarré ou polygonal. L'assemblage rond à *prisonnier* est préférable, non-seulement comme le moins susceptible de jeu, mais encore comme se prêtant le mieux au remplacement, puisqu'il n'y a qu'un trou à aléser et une *rainure* à faire à la machine à parer.

Les manchons sont tantôt en fonte, tantôt en fer. En fonte pour tous les arbres en fonte et quelques arbres en fer; en fer pour la majorité de ces derniers. Le choix de ces deux métaux, dans le cas des arbres en fer, est une question d'économie qui peut se résoudre ainsi :

Poids du manchon en fonte.	1.0
Poids du manchon en fer.	0.5

Prix de revient.

	Fonte.	Fer.
Matière brute.	1. . . .	0.78
Alésage.	1. . . .	1.2
Parage.	1. . . .	1.2
Tour.	1. . . .	2.0
Ajustage.	1. . . .	2.0
Rapport ::	5 :	7.2

Comme on le voit, l'économie des premiers n'est pas grande, surtout si on a égard à leur rupture possible.

Les prix de confection des manchons peuvent être pris moyens pour le fer, mais pour la fonte ils sont plus élevés et peuvent se prendre tels que nous venons de les figurer proportionnellement au fer.

Quant aux poids, ils sont doubles de celui de l'arbre sur une longueur égale à celle du manchon.

6° *T. de tiges.*

Les T de tiges ont généralement la forme représentée fig. 21 (planche IX). La tige placée dans la douille est celle dont l'axe est dans le sens du mouvement. Le serrage s'opère au moyen de la clavette de la douille qui presse la tête de la tige contre le corps de l'axe transversal, aplati au point de contact seulement. La première est en général une tige de piston, soit à vapeur, soit de pompe, qui se trouve dans la nécessité d'avoir une tête rapportée pour le passage du couvercle. Pour éviter le T, on a quelquefois garni la tige d'un filet de vis, qui, traversant l'axe transversal, le

maintenait en un point déterminé, au moyen de quatre écrous placés deux à deux de chaque côté. Mais on a renoncé à cette disposition, parce que les filets finissaient toujours par être mangés et nécessitaient un renouvellement complet de la tige.

L'axe est destiné à porter des *glissoirs* pour diriger la tige en ligne droite, et deux ou plusieurs bras de fourchettes transmettant le mouvement à d'autres pièces. Lorsque l'une de ces pièces est une bielle devant transmettre toute la force motrice du piston à une manivelle, on la met à fourchettes et à chapes munies de coussinets. Ce cas est celui des locomotives : or, non-seulement ces fourchettes, qui s'exécutent en fer forgé, sont difficiles à construire, mais encore elles exposent le corps de la bielle à casser, par suite du peu d'élasticité qu'elles laissent à ce dernier pour se prêter aux diverses oscillations que sa tête opposée peut faire, pendant la marche, de chaque côté du plan du mouvement. Pour cette raison, on est dans l'usage de faire les bielles à deux têtes simples, et de mettre la fourchette sur la tête de la douille même. Cette fourchette peut se construire alors d'une manière analogue à celle de la figure 17; mais elle présente l'inconvénient de ne pas serrer l'axe à demeure, et partant, de lui laisser sans cesse agrandir son trou, ce qui a la plus fâcheuse influence dans une machine. Pour éviter cela on la munit de deux chapes rondes, sans coussinets, dont le but est seulement de serrer. Ce dernier assemblage est sans contredit le meilleur; mais le premier, celui du T ordinaire et de la bielle à fourchette, n'est pas sans mérite, et, exécuté soigneusement, peut s'employer; car nous savons par expérience que des bielles à têtes simples et à tourillons sphériques, devant par conséquent se prêter à toutes les oscillations horizontales, n'en cassent pas moins lorsque ces dernières ont lieu, c'est-à-dire quand l'essieu coudé n'est pas bien centré; si donc on a soin de bien centrer les essieux et de donner de la raideur aux entretoises, on peut employer indistinctement l'un ou l'autre.

Le T représenté dans le dessin a généralement les axes inégaux, parce que l'axe transversal est plus long que dans les fourchettes ordinaires; et que la résistance transversale est beaucoup moindre que celle longitudinale.

Voici les dimensions relatives que l'on donnerait pour locomotives :

Diamètre de la tige.	Diamètre de l'axe dans le T.	Diamètre des tourillons de l'axe.
d	*D*	
millim.	millim.	millim.
N° 15	21	18
18	25	21
21	30	25
25	35	30
30	40	35
35	45	40
40	50	45
45	55	50
50	60	55
55	65	60
60	70	65
65	75	70
70	80	75
75	85	80
80	90	85
85	95	90
90	100	95
95	110	100
100	120	110

En général, quand il y a sur l'axe plusieurs tourillons, comme dans les parallélogrammes de machines à balancier, par exemple, on donne au dernier tourillon, celui de l'extrémité, un diamètre égal à un centimètre en sus de celui de sa tige, et on fait croître les autres, à partir de celui-là, de la même quantité jusqu'au millieu. Ainsi, pour deux tourillons de chaque côté du T on a :

Tige 30^{mm}, tourillons. { extrême. 40 ; 2me. . . 50 ; milieu . 60 }

Pour construire un T ordinaire, voici comment on s'y prend.

Le forgeron a deux mandrins dont les formes et dimensions sont celles de la tige et de l'axe. Il prend une barre de fer plat, dont la largeur est égale à environ la demi-circonférence de la tige. Il courbe à chaud cette barre sur le mandrin

de l'axe, de manière que la longueur de chaque côté soit égale à celle du T; puis il place le mandrin de la tige perpendiculaire à l'axe et rabat de chaque côté les rebords de la barre de fer. Quand cette opération est terminée, il soude les rebords de la barre de fer qui sont venus se rencontrer à droite et à gauche de la tige, suivant une de ses génératrices; puis il fait à part deux anneaux qu'il rapporte autour de l'axe de chaque côté pour donner à la tête toute sa largeur, ce qui fait encore deux soudures. En tout quatre soudures et un travail très-difficile; aussi, n'y a-t-il qu'un bon forgeron qui puisse faire ces pièces. Comme les T ne sont pas alésés à l'ajustage, il est de la plus haute importance que les axes soient placés bien perpendiculairement entre eux.

A l'ajustage il y a du tour, du burin et de la lime pour le T, du rabot pour les clavettes; la mortaise est la même que pour les douilles ordinaires.

Au-dessus de 100^{mm}, on fait les T en fonte, et cela sans le moindre inconvénient; c'est pourquoi, dans les machines horizontales, comme locomotives par exemple, lorsque le T est un peu compliqué, on l'exécute aussi en fonte pour des diamètres au-dessous de 100^{mm}. Il y avait à l'exposition de 1839 une machine horizontale fixe du *Creusot* possédant cette disposition. Pour ce dernier cas, il n'y a pas d'inconvénient; cela présente même quelques avantages dans l'exécution; mais pour locomotives, le fer est toujours préférable, parce qu'on ne sait pas ce qui peut arriver; et là, il faut éviter toutes les chances de casse.

Les poids des T sont variables suivant la forme de la tête. Quelle que soit leur forme, la main-d'œuvre est toujours coûteuse. Nous admettrons un poids moyen entre le T ordinaire et le T à deux chapes, et la même main-d'œuvre pour tous, ce qui donnera :

Diamètre de la tige.	Poids du T.	PRIX COUTANT. Fer.	Main-d'œuvre.	Total.
	kil.	fr.	fr.	
N° 15	0.30	0.15	18	18.15
18	0.50	0.25	20	20.25
21	0.90	0.45	23	23.45
25	1.40	0.70	25	25.70

30	2.50	1.25	27	28.25
35	4.00	2.00	29	31.00
40	6.00	3.00	31	34.00
45	9.00	4.50	34	38.50
50	12.00	6.00	37	43.00
55	15.50	7.75	40	47.75
60	20.00	10.00	45	55.00
65	25.00	12.50	50	62.50
70	32.00	16.00	55	71.00
75	40.00	20.00	60	80.00
80	48.00	24.00	65	89.00
85	55.00	27.50	70	97.50
90	68.00	34.00	75	109.00
95	80.00	40.00	80	120.00
100	100.00	50.00	85	135.00

non compris les frais généraux.

DEUXIÈME CLASSE.

1° *Boulons et écrous.*

Les boulons et écrous sont les pièces indispensables d'assemblage, à joints superposés, des faces planes.

Dans un boulon on distingue : la tête, le corps, le filet. La tête du boulon est tantôt quarrée, tantôt hexagonale, tantôt ronde, cylindrique, hémisphérique ou conique; dans tous les cas, sa hauteur est égale au diamètre du corps, et la surface de sa base égale à quatre fois la section du corps, ce qui, pour les ronds, correspond à un diamètre double.

La tête quarrée s'emploie généralement dans les boulons communs, soit brute de forge, soit ajustée. La tête hexagonale est la plus employée dans les machines à vapeur de terre ou de bateaux; dans les locomotives, on lui préfère la tête hémisphérique tournée, pour les parties où elle est le plus en vue. La tête conique peut s'employer dans le même cas, mais ne présente pas autant de solidité.

Le corps du boulon a pour diamètre le diamètre exact du trou qu'il doit remplir; il est tantôt brut, tantôt tourné, suivant les usages auxquels on le destine.

Pour le filetage, nous avons déjà dit comment il s'opérait. Nous ajouterons que, quand après le filet se trouve un prolongement du corps du côté de l'écrou, il faut, pour que ce

dernier puisse passer, que ce prolongement ait un diamètre égal à celui du corps moins un pas de vis, comme il est représenté fig. 16 (planche IX). Il y a donc, pour un boulon tourné, 3 diamètres que nous allons déterminer.

Le pas de vis est, en moyenne, égal aux $^1/_8$ du diamètre du boulon, plus fort pour les petits, plus faible pour les gros. Or, la série des boulons nécessaires pour confectionner toute espèce de machine se compose seulement de 12 différents dont les diamètres sont :

8, 10, 12, 15, 18, 21, 25, 30, 35, 40, 45 et 50 millim.

Faisant varier le coefficient du pas de vis suivant une règle en rapport avec ce que nous venons d'indiquer, nous aurons :

Diamètre. du corps avant le filet.	Pas de vis.	Diamètre au pas de vis avant le filetage.	Diamètre du corps après le filet.
	millim.	millim.	millim.
N° 8	1.3	7.35	7
10	1.6	9.20	8
12	1.9	11.05	10
15	2.2	13.90	12
18	2.5	16.75	15
21	2.8	19.60	18
25	3.1	23.45	21
30	3.4	28.30	25
35	3.7	33.15	30
40	4.0	38.00	35
45	4.3	42.85	40
50	4.6	47.70	45

Lorsque l'on calcule le diamètre d'un boulon, on doit toujours supposer que le résultat correspond au diamètre après le filet, et augmenter dans la proportion indiquée ci-dessus.

Les écrous sont de plusieurs formes ; on les divise en :

Ecrous à chapeau à 6 pans, fig. 10, pl. IX.
Ecrous façonnés *id.* fig. 11.
Ecrous ordinaires *id.* fig. 12.
Ecrous quarrés fig. 13.

Les écrous à chapeau s'emploient principalement dans les pièces en vue, lorsqu'ils sont en petit nombre comme dans les stuffing-box et les supports de luxe.

Les écrous façonnés, qui diffèrent seulement des écrous ordinaires en ce qu'ils ont eu leurs bases aplanies au tour, s'emploient dans les pièces en vue lorsqu'ils sont nombreux, comme dans les cylindres et boîtes à vapeur.

Les écrous ordinaires, tantôt bruts de forge, tantôt ajustés, s'emploient dans toutes les autres parties des machines, sauf quelques parties tout-à-fait cachées où l'on met les écrous quarrés.

Pour construire un boulon ou un écrou, on a une étampe qui se place sur l'enclume dans un trou ménagé à cet effet; on a de plus, pour le boulon, une *clouière*, et pour l'écrou un mandrin dont le diamètre est celui au-dessous du n° du boulon auquel il correspond; ce mandrin est l'un de ceux de la collection pour les douilles, T, etc.; l'étampe sert à former soit les six pans, soit le quarré; la clouière sert à faire la tête et consiste en une pièce de fer percée d'un trou égal à celui du corps du boulon; quand la tête a été soudée après le corps, et frappée dans l'étampe, on passe le boulon dans la clouière et on l'aplatit à coups de marteau. Quelquefois la clouière est quarrée et communique sa forme à la partie du corps seulement qui est près de la tête: cette disposition a pour but d'empêcher le boulon de tourner quand on serre l'écrou, mais alors on a soin de faire venir l'un des trous quarrés aux pièces qu'on veut assembler.

A l'ajustage le travail des boulons et écrous consiste dans le tour, la machine à tarauder, et une troisième machine, employée seulement depuis quelque temps et donnant d'excellents résultats; c'est la machine dite *à écrous* dont le but est de faire les faces à 4 ou 6 pans parfaitement réguliers. Le résultat de cette machine est d'économiser considérablement la main-d'œuvre pour les écrous ajustés, de les mettre en état de remplir exactement la clef de serrage, ce qui empêche l'usure de l'un et de l'autre, et d'offrir un aspect plus agréable à l'œil qu'un écrou ajusté à la main, qui, quoi qu'on fasse, présente toujours quelque irrégularité.

Si nous résumons tous les outils différents qu'entraîne un n° de boulon, nous trouvons :

1° *A la forge*. . . 1° Clouière.
2° Etampe.
3° Mandrin.

2° *A l'ajustage*. . 4° Peigne.
5° Mère de taraud.
6° Filière.
7° 4 tarauds.
3° *Au montage*. . 8° Clef.
Total. . . . 11 outils différents.

On voit, d'après cela, de quelle importance il est d'avoir une série de ces pièces bien déterminée, en ce que non-seulement on en fait beaucoup, mais encore il faut les livrer à un prix très-bas.

Pour les devis, il est important de pouvoir évaluer exactement les poids des boulons qu'on emploie; dans le but de faciliter cette évaluation, nous donnons ci-dessous un tableau représentant ces poids pour diverses longueurs.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

Dans les machines, les longueurs des boulons sont assez généralement proportionnées à leurs diamètres, c'est-à-dire que les boulons n°s 8, 10, 12, etc., sont plutôt employés pour longueurs au-dessous de 10 centimètres qu'au-dessus; de même, les n°s 45, 50, qui servent principalement comme boulons de fondations, ont des longueurs qui dépassent généralement 1^{m} et même 2^{m}. Il suit de là que l'appréciation de la main-d'œuvre pourra se faire assez exactement, en n'ayant égard qu'au diamètre.

Un forgeron gagnant 3 fr. par jour et travaillant seul, peut faire, dans sa journée, un cent de boulons n° 8 avec écrous, et, avec un frappeur, 5 boulons n° 50 avec écrous, soit à tête, soit à clavette.

Supposant une longueur moyenne de 0^{m}.075 au boulon n° 8, et 2^{m} au boulon n° 50, nous aurons :

Poids de	1	boulon	n° 8	=	0 k. 054
Poids de	100	*id.*	*id.*	=	5. 40
Poids de	1	boulon	n° 50	=	42. 6
Poids de	5	*id.*	*id.*	=	213. 0

Soit le 1er 6 kilog. et le 2e 200 kilog.

Main-d'œuvre de. . .	6 k.	= 3 f.00
Donc.	1	= 0. 50
Main-d'œuvre de. . .	200	= 4. 75
Donc.	1	= 0. 02375

Poids des boulons avec écrous ordinaires.

Diamètres.	DISTANCE ENTRE LA TÊTE ET L'ÉCROU SERRÉ.																	
	m. 0.05	m. 0.075	m. 0.10	m. 0.125	m. 0.15	m. 0.175	m. 0.20	m. 0.25	m. 0.30	m. 0.35	m. 0.40	m. 0.45	m. 0.50	m. 0.60	m. 0.70	m. 0.80	m. 0.90	m. 1.
	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
No 8	0.045	0.054	0.064	0.073	0.083	0.093	0.102	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.41
10	0.080	0.096	0.11	0.125	0.141	0.156	1.171	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.41	0.48	0.54	0.60	0.65
12	0 13	0.15	0.17	0.195	0.215	0.237	0.259	0.30	0.35	0.39	0.43	0.48	0.52	0.61	0.69	0.78	0.87	0.96
15	0.23	0.265	0.30	0.333	0.367	0.40	0.435	0.50	0.57	0.64	0.71	0.77	0.84	0.98	1.11	1.24	1.40	1.52
18	»	0.429	0.48	0.53	0.576	0.626	0.674	0.77	0.87	0.97	1.10	1.16	1.26	1.45	1.65	1.84	2.10	2.25
21	»	0.648	0.72	0.78	0.848	0.914	0.98	1.12	1.25	1.38	1.52	1.65	1.78	2.05	2 31	2.57	2.85	3.12
25	»	»	1.13	1.23	1.319	1.414	1.51	1.70	1.58	2.10	2.25	2.45	2.64	3.00	3.38	3.76	4.12	4.52
30	»	»	1.843	1.98	2.115	2.25	2.39	2.7	2.93	3.20	3.47	3.74	4.00	4.55	5.00	5.62	6.17	6.73
35	»	»	»	3.00	3.19	3.38	3.56	3.93	4.30	4.68	5.00	5.41	5.80	6.50	7.28	8.00	8.73	9.50
40	»	»	»	4.31	4.55	4.79	5.03	5.51	6.00	6.47	7.00	7.45	7.95	8.90	9.85	10.82	11.80	12.80
45	»	»	»	»	6.23	6.54	6.84	7.45	8.10	8.66	9.30	9.90	10.50	11.70	13.00	14.15	15.40	16.60
50	»	»	»	»	8.30	8.63	9.06	9.83	10.60	11.35	12.10	12.90	13.65	15.20	16.70	18.20	19.80	21.30

A l'ajustage, tantôt il n'y a qu'un simple taraudage, tantôt il y a du tour, de l'ajustage et du taraudage.

Considérons d'abord le premier cas :

Pour fileter un boulon n° 50, il faut $1/3$ de jour à 5 hommes, ce travail se faisant généralement à bras. Ces 5 hommes se composent de :

1 taraudeur, graissant et serrant à	3.00 fr.
4 manœuvres à 1.75.	7.00
Total. . . .	10.00 fr.

$1/3 \times 10$ fr. = 3 fr. 33.

Admettant que le taraudage de l'écrou coûte 1 fr. 77 c., nous aurons en total 5 fr. pour 42 kilog. 6 ou 0 fr. 11 pour 1 kilog.

Pour des boulons et écrous n° 8, un taraudeur travaillant à la machine en fera 1 cent par jour de chaque, ce qui met la main-d'œuvre égale à celle de la forge ; on a donc :

		Main-d'œuvre du kil.
Pour n° 8. . .	forge. . .	0.50
	taraudage	0.50
	Total. . . .	1.00
Pour n° 50. . .	forge. . .	0.024
	taraudage	0.11
	Total. . . .	0.134

Insérant entre ces deux nombres 10 moyens géométriques, nous aurons pour 1 kilog. de chaque :

Diamètre.	Valeur de fer.	Main-d'œuvre. du kil.	Total pour 1 kil.
	fr.	fr.	fr.
N° 8	0.50	1.00	1.50
10	0.50	0.87	1.37
12	0.50	0.73	1.23
15	0.50	0.61	1.11
18	0.50	0.51	1.01
21	0.50	0.43	0.93
25	0.50	0.36	0.86
30	0.50	0.30	0.80
35	0.50	0.25	0.75
40	0.50	0.21	0.71
45	0.50	0.18	0.68
50	0.50	0.15	0.65

Lorsque les boulons sont tournés et ajustés, la main-d'œuvre, quoique exécutée la plupart du temps par les élèves, coûte beaucoup, et on ne sera pas loin de la vérité en l'évaluant 1 fois $^{1}/_{2}$ ce qu'elle est pour les deux autres opérations, ce qui donne :

Prix du kilog. de boulons tournés et ajustés.

	Main-d'œuvre	Total.
	fr.	fr.
N° 8	2.50	3.00
10	2.15	2.65
12	1.80	2.30
15	1.50	2.00
18	1.30	1.80
21	1.10	1.60
25	0.90	1.40
30	0.75	1.25
35	0.65	1.15
40	0.55	1.05
45	0.45	0.95
50	0.40	0.90

non compris les frais généraux.

2° *Supports.*

Les supports, fig. 8 (planche IX), sont spécialement destinés à maintenir dans une position déterminée, généralement horizontale, un axe doué d'un mouvement de rotation sur lui-même, soit continu, soit alternatif.

Il y a toujours 2 supports pour un même axe, et ils se trouvent toujours placés le plus près possible des extrémités.

On distingue deux parties principales dans un support : le *corps* et l'*embase*.

Le corps du support sert à porter l'axe, et l'embase à fixer ce support contre des pièces invariables de position. Le corps du support est toujours le même pour un même diamètre de tourillon ; il se compose de deux coussinets en tout semblables à ceux des chapes de bielles, maintenus en place entre deux pièces de fonte, dont l'une s'enlève à volonté et porte le nom de *chapeau*. Ces pièces de fonte, qui s'emboîtent toujours l'une dans l'autre pour éviter toute

espèce de mouvement, sont assemblées par 2 boulons pour des diamètres au-dessus de 20 millimètres, et 4 boulons à partir de ce diamètre. L'assemblage de ces boulons, avec la partie fixe, se fait comme sur le dessin quand les *diamètres* sont petits; à 60 millimètres on assemble les *boulons* à clavette, ce qui donne de la facilité pour les retirer quand ils se cassent. La grande analogie qui existe entre les fonctions des chapes de bielles et celles du support, fait que, dans certains cas, on les remplace l'un par l'autre. Quand le support est très-élevé au-dessus de la plate-forme, par exemple, on le remplace par une chape de bielle. La réciproque, ou l'emploi du support au lieu de la chape, ne réussit pas aussi parfaitement et ne se fait que par économie, car c'est fort laid; il existe pourtant des constructeurs qui prodiguent ce genre d'assemblage.

L'embase du support, appelée aussi *patin*, est très-variable de forme et de dimension : tantôt elle s'assemble avec une plate-forme horizontale, tantôt avec une verticale, tantôt avec une autre inclinée, affectant toute espèce de surface; de plus, la distance du pied de l'embase à l'axe des supports est aussi variable. Il suit de là que, quand on fait un modèle de support, on construit à part les corps et l'embase qu'on relie ensuite par des vis pour le moulage : on fait le corps le plus court possible du côté de l'embase, afin de le faire servir pour les cas où l'axe est très-près de la plate-forme fixe; il ne reste plus ainsi qu'à faire varier la hauteur et la forme de l'embase, suivant les différents cas.

Tableau des supports.

Diamètre des tourillons.	Diamètre des boulons.	Poids pour hauteur minima.		
		Fonte.	Fer.	Cuivre.
millim.	millim.	kil.	kil.	kil.
N° 21	8	0.88	0.09	0.09
25	8	1.32	0.132	0.132
30	10	2.65	0.265	0.265
35	12	4.00	0.400	0.400
40	12	6.00	0.600	0.600
45	15	8.60	0.860	0.860
50	15	12.00	1.20	1.20
55	18	15.40	1.54	1.54

60	18	20.00	2.00	2.00
65	21	26.50	2.65	2.65
70	21	32.00	3.20	3.20
75	25	40.00	4.00	4.00
80	25	46.00	4.60	4.60
85	25	55.00	5.50	5.50
90	30	59.00	5.90	5.90
95	30	63.00	6.30	6.30
100	30	67.00	6.70	6.70

La main-d'œuvre se compose du forgeage des boulons, du moulage du support et de ses coussinets, du taraudage des boulons, de l'alésage des coussinets et de l'ajustage du tout.

Pour le support n° 100, nous avons 6k.70 fer n° 30, valant, d'après ce que nous avons dit plus haut, 6.7 × 0.30 = 2 fr. pour la main-d'œuvre seulement. Nous avons aussi pour le cuivre 6k. 70, valant 6.7 × $^{35}/_{40}$ = 5 fr. 90 pour la main-d'œuvre seulement, en supposant qu'elle est la même pour le cuivre que pour le fer dans les chapes de bielles, ce qui n'est pas tout-à-fait exact; mettons donc 5 fr. seulement.

La main-d'œuvre de la fonte se renfermera presque dans le travail de la fonderie : il y a un léger ajustage pour placer les coussinets et faire entrer le chapeau. Supposons le travail de la fonderie 0 f. 05 le kil., et celui de l'ajustage 0 f. 025, nous aurons pour la fonte :

67 k. × 0 f. 075 = 5 f.

Total de la main-d'œuvre,	fer. . . .	2 fr.
	cuivre. .	5
	fonte. . .	5
		12

Pour un support n° 100, on en fera 5 n° 21, donc un support n° 21 coûtera en main-d'œuvre 2 f. 40.

Insérant quinze moyens géométriques entre 2 f. 40 et 12 f. et admettant que le kilog. de fonte vaut 0 f. 25, nous aurons :

Diamètre des tourillons.	Fonte.	Fer.	Cuivre.	Main-d'œuvre.	Somme.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
N° 21	0.22	0.045	0.27	2.40	2.95
25	0.33	0.066	0 40	2.66	3.45
30	0.66	0.132	0.80	2.95	4.55
35	1.00	0.200	1.20	3.27	5.65
40	1.50	0.300	1.80	3.65	7.25
45	2.15	0.430	2.60	4.05	9 25
50	3.00	0.600	3.60	4.50	11.70
55	3.85	0.770	4.60	5.00	14.25
60	5.00	1.00	6.00	5.55	17.55
65	6.60	1.32	8.00	6.15	22.05
70	8.00	1.60	9.60	6.80	26.00
75	10.00	2.00	12.00	7.55	31.55
80	11.50	2.30	13.80	8.40	36.00
85	13.80	2.75	16.50	9.30	42.35
90	14.80	2.95	17.70	10.00	45.45
95	15.40	3.15	19.00	11.00	48.55
100	16 80	3.35	20.00	12.00	52.15

non compris les frais généraux.

On aura approximativement le prix de revient d'un support d'une hauteur quelconque, en prenant le prix du kil. de support correspondant dans le tableau ci-dessus, et le multipliant par le poids du nouveau support.

3° *Leviers, manivelles et balanciers.*

Nous n'avons rien à dire ici sur les manivelles et balanciers, ces pièces n'étant nullement employées dans les locomotives. Nous ne parlerons donc que des leviers en fer qui servent pour toutes les petites transmissions de mouvement circulaire en rectiligne.

La fig. 20 (Planche IX) représente le levier tel qu'il s'emploie le plus généralement; sous cette forme il s'assemble toujours avec une fourchette. Il est d'autres leviers en fer, ceux d'excentrique par exemple, dont le bras se trouve tout au bord du moyeu, au lieu d'être au millieu, et dont l'extrémité est munie d'un bouton analogue à ceux des manivelles. Quelle que soit la forme de ces pièces en général, la main-d'œuvre est la même pour toutes.

Les diamètres du tourillon et de l'arbre sont liés entre eux par une relation que nous avons indiquée sur le dessin et que nous allons expliquer.

L'arbre qui passe dans le moyeu résiste à la torsion, et le tourillon qui passe dans l'extrémité, a la traction transversale.

Pour le premier, on détermine le diamètre par la formule de Tredgold :

$$D^3 = 2.3 \frac{A}{n} \frac{9}{14}$$

A étant le travail transmis en kilogrammètres par ′, et n le nombre de tours dans le même temps.

Pour le second on détermine ce diamètre par la formule de Tredgold :

$$d^3 = 32.7 \frac{9}{14} Q$$

Q étant le poids supporté par ce point.

Or, si l représente la distance entre les centres, on aura :

$$\frac{A}{n} = 2\pi l Q;$$

d'où : $$D^3 = 2.3 \frac{9}{14} 2\pi l Q,$$

mais : $$d^3 = 32.7 \frac{9}{14} Q,$$

donc : $$\frac{D^3}{d^3} = \frac{14.4}{32.7} l,$$

d'où $$D^3 = 0.44\, l\, d^3,$$

D, d et l exprimés en centimètres.

Comme la formule qui donne d peut servir pour des arbres ayant en longueur douze fois le diamètre du tourillon, il s'ensuit que la valeur de d est un peu forte; pour balancer cela, nous poserons en nombres ronds :

$$D^3 = 0.5\, l\, d^3,$$

et nous aurons :

Pour l =	5 centimètres.	D =	1.36 d.
	10	=	1.71
	15	=	1.96
	20	=	2.15
	25	=	2.32
	30	—	2.47

35	=	2.60
40	=	2.71
45	=	2.82
50	=	2.93
55	=	3.02
60	=	3.10
65	=	3.19
70	=	3.27
75	=	3.35
80	=	3.42
85	=	3.49
90	=	3.55
95	=	3.62
100	=	3.68

Il n'est pas possible de déterminer les poids des leviers, *à priori*, sans entrer dans une série de tableaux dont l'utilité ne répondrait pas au travail qu'ils exigeraient ; mais ces pièces étant en dimensions proportionnelles, on peut composer une formule au moyen de laquelle on aura ces poids pour des diamètres et des longueurs quelconques, par une simple substitution de chiffres.

En effet, on a :

Volume du moyeu :

$$= 1.2\ D \times \pi \left((0.833\ D)^2 - 0.25\ D^2 \right)$$

$$= 1.2\ D \times 3.141\ 6$$

$$= 1.58\ D.^3 \times 0.445\ D^2$$

Volume de l'extrémité :

$$= 1.2\ d \times \pi \left((1.1\ d)^2 - 0.25\ d^2 \right)$$

$$= 1.2\ d \times 3.141\ 6$$

$$= 3.6\ d^3 \times 0.96\ d^2$$

Volume du bras :

$$= \left(l - \frac{D+d}{2} \right) \frac{D+d}{2} \times 0.6\ \frac{D+d}{2}$$

$$= 0.15\ (D+d)^2 \left(l - \frac{D+d}{2} \right)$$

Faisant $D = 2\,d$ pour simplifier, on aura :

Volume du bras :

$$= 0.15 \times 9\,d^2 \left(l - \frac{3}{2}\,d\right)$$

$$= 1.35\,d^2\,l - 2\,d^3.$$

Substituant pour D^3, dans le volume du moyeu, sa valeur $0.5\,l\,d^3$, on aura pour volume total :

$$1.58 \times 0.5\,l\,d^3 + 3.6\,d^3 + 1.35\,d^2\,l - 2\,d^3.$$

Simplifiant, il vient :

Volume du levier :

$$d^2 \left(1.35\,l + 0.79\,l\,d + 1.6\,d\right).$$

Pour faire un levier, le forgeron prend une barre de fer quarrée, plus grosse que le moyeu, la perce à chaud au moyen de plusieurs mandrins de diamètres différents; puis arrondit ensuite l'extérieur sur ce trou, soit à la tranche soit au marteau seul, suivant qu'il y a excès ou manque de fer. Il ménage, du côté du bras, une queue qu'il amincit d'abord au moyen du marteau à son extrémité, puis ensuite au moyen du dégorgeoir qui la fait mourir sur le moyeu par un congé de chaque côté. Le même travail s'effectue pour l'extrémité, sauf le trou qu'on ne fait pas; et quand ces deux parties sont exécutées, on allonge suffisamment l'une d'elles, soit en aplatissant, soit en ajoutant du fer jusqu'à temps qu'elles puissent se souder de longueur. Arrivé à ce point, le reste de l'opération n'est plus qu'un parage.

A l'ajustage, le tour fait l'extérieur des deux têtes, sauf les parties qui se trouvent dans les mêmes cercles que le bras; ces parties sont terminées à la machine à parer. Quand les leviers dépassent $0^m.30$ de long, on tourne les deux têtes avant de les souder de longueur.

Après la machine à parer viennent le foret et l'alésoir; les faces planes des bras s'exécutent à la machine à raboter, puis enfin à l'ajustage.

On aura assez exactement le prix de revient de la main-d'œuvre de ces pièces en le supposant égal au kil. à celui des fourchettes de même diamètre, ce qui donnera :

Diamètre du moyeu.	Main-d'œuvre du kilog.
millim.	fr.
N° 10	135.00
12	87.00
15	49.00
18	34.00
21	24.00
25	15.00
30	10.40
35	7.30
40	5.50
45	4.35
50	3.50
55	3.00
60	2.75
65	2.30
70	2.05
75	1.90
80	1.75
85	1.60
90	1.55
95	1.50
100	1.40

Non compris les frais généraux.

ARTICLE 2. — ÉTABLISSEMENT DE L'USINE.

Nous ne croyons pas pouvoir mieux faire, pour déterminer les rapports qui existent entre les diverses opérations de l'atelier de construction, que de résoudre la question suivante :

Établir un atelier de construction pour locomotives aux environs d'un point de départ ou de passage de plusieurs chemins de fer, comme Paris, susceptible de confectionner par an 12 locomotives pour largeur de voie 1m,50.

Une locomotive, pour largeur de voie, 1m,50, se compose, en moyenne, des matériaux suivants :

1° *Chaudières.*

1° Fonte.	Barreaux de grille.	300	600k.
	Chauffage de la vapeur. . . .	300	

	Report. . . .			600 k.
2° Fer.	Tôles forte et demi-forte. . . .	2500		3200 k.
	Fers d'angle, armatures et divers.	150		
	Rivets posés à chaud.	150		
	Rivets taraudés..	100		
	Viroles en fer (système *Stéhélin*).	100		
	Cheminée en tôle..	200		
3° Cuivre.	Tôle rouge pour caisse à feu. .	1000		2200 k.
	Tôle de laiton pour tubes. . .	1200		
	Total. . . .			6000 k.

2° *Machines*.

1° Fontes..	Cylindres, tuyaux et divers. .		1500	7300 k.
2° Fers.	Grandes roues.	2000	5500	
	Petites *id*..	1800		
	Essieu coudé.	400		
	Essieux droits.	300		
	Transmission du mouvement.	1000		
3° Cuivre..	Bronzes divers.		280	
4° Acier...	Divers.		20	

3° *Châssis*.

1° Fontes..	Diverses.		50	2700
2° Fers.	Tôles.	1000	1950	
	Boulons, grille du chauffeur et divers.	950		
3° Aciers.	Pour ressorts..		300	
4° Bois.	. . . .		400	
	Total général. . . .			16000 k.

Dans lesquels nous avons :

Fontes.		1150 k.	à	25 f.	les 100 k. bruts.	287 f. 50
Fers :	1° tôles	3700	à	80	*id*.	2960. 00
	2° divers	6950	à	50	*id*.	3475. 00
Cuivr.	1° tôles	2200	à	300	*id*.	6600. 00
	2° bronz.	280	à	300	*id*.	840. 00
Aciers divers...		320	à	200	*id*.	640. 00
Bois..		400			*id*.	100. 00
		16000 k.				14902 f. 50

Déchets :

Fontes.	172 k.	à 25 f.	les 100 k. . .	43 f.
Fers : 1° tôles	552	à 80	*id.*	442
2° divers	1040	à 50	*id.*	520
Cuivres.	124	à 300	*id.*	370
Aciers.	32	à 200	*id.*	64
				1439 f.

16000 k. coûtent donc bruts :

Matière employée. . . .	14902 f. 50
Déchets.	1439. 00
Total. . . .	16341 f. 50

Net, au minimum. . . . 16000 f.

§ 1er. — *Personnel.*

12 locomotives par an font par mois 1 locomotive, et exigent, d'après le chapitre précédent, les nombres suivants d'ouvriers :

1° *Forge.*

$$\frac{6950 + 320}{455} = 16 \text{ forgerons et } 24 \text{ manœuvres.}$$

2° *Fonderie.*

$$\frac{1150 + 280}{2800} = 1 \text{ mouleur et } 1 \text{ manœuvre.}$$
1 modeleur.

3° *Chaudronnerie.*

$$\frac{5900}{300} = 20 \text{ chaudronniers et } 16 \text{ manœuvres.}$$

4° Ajustage.
- 16 tourneurs.
- 5 aléseurs et gros tours.
- 2 raboteurs.
- 2 foreurs.
- 2 taraudeurs.
- 1 pareur.
- 32 ajusteurs et 16 manœuvres.

5° Montage. . . 3 monteurs.

6° Acessoires. . 8 ouvriers et 8 manœuvres.

Totaux. . . . 109 ouvriers et 65 manœuvres.

Faisant abstraction pour un moment des différences entre les nombres proportionnels des ouvriers de la fonderie et ceux que nous avons pris, nous avons, d'après le chapitre précédent, pour dépense par mois et par forgeron :

1° Main-d'œuvre.	675f.00
2° Mobilier.	312. 50
3° Immeuble.	75. 00
4° Divers.	137. 50
5° Frais généraux $\frac{4500}{16}$ =	281f.00
Total. . . .	1481f.00 par mois,

et pour 16 forgerons 23696 fr. par mois.

Mais ceci suppose 24 mouleurs, au lieu de 1 que nous trouvons nécessaire ; il y en a donc 23 de trop, coûtant par mois :

Main-d'œuvre 23 × 217 fr. =	5000 fr.
Mobilier. . . $\frac{23 \times 400}{10 \times 12}$ . . . . =	770
Immeuble environ. . . . . =	230
Total. . . .	6000 fr.

Restent, seulement pour frais de fabrication par mois, correspondant à 1 locomotive, 23696 — 6000 = 18000 fr. nets, y compris l'intérêt à 5 p. 100 par an du capital d'établissement qui est, d'après le tableau (*page* 221), 540000 fr.
Net. . . . 500000 fr.

Une locomotive coûte donc :

Matières premières.	16000 fr.
Fabrication.	18000
Total. . . .	34000

Elle se vend 40000 fr.; restent 6000 fr., sur lesquels se prélèveront :

1° Le bénéfice net ;

2° L'intérêt des fonds de roulement.

Or, puisqu'il faut dépenser 34000 fr. par mois, il est indispensable que le fond de roulement puisse faire face à la dépense d'au moins 3 mois, c'est pourquoi nous évaluerons ce dernier à 100000 fr., ce qui fait, pour capital

social nécessaire à l'établissement d'un atelier de construction, faisant 12 locomotives par an, 600000 fr.

D'après ces données, nous baserons notre projet d'établissement sur un nombre rond de forgerons égal à 20 au lieu de 16, cela à cause des divers autres travaux qui peuvent se présenter; nous aurons ainsi :

		Ouvriers.	Manœuvres.
1° Forges.		20	30
2° Fonderie	mouleurs.	4	4
	modeleurs.	1	1 élève
3° Chaudronnerie.		20	16
4° Ajustage	tourneurs.	20	
	aléseurs et tourneurs de roues.	5	
	raboteurs.	4	
	foreurs.	2	20
	taraudeurs.	3	
	pareurs.	2	
	ajusteurs.	40	
5° Montage.		4	4
6° Accessoires.		5	5
		130 ouvriers et	80 manœuv.

§ 2. *Immeubles.*

1° *Terrein.* A 300 mètres quarrés par forgeron, comme nous l'avons indiqué dans le chapitre précédent, le terrein de l'usine aura une superficie de 6000 mètres quarrés. Dans le but d'avoir les transports les moins longs possible, à l'intérieur, nous prendrons ce terrein quarré et aurons ainsi, net :

80 mètres de côté extérieur.

2° *Bâtisses.* Les situations relatives des différents ateliers doivent, autant que possible, être assujetties aux rapports plus ou moins directs qu'ils ont entre eux. Or, la forge et la fonderie livrent la presque totalité de leurs produits à l'ajustage; une faible portion néanmoins va au montage. La chaudronnerie livre la totalité de ses produits au montage, mais elle est quelquefois obligée d'avoir recours à l'ajustage pour certaines opérations qui sont commencées à ces deux ateliers. L'ajustage livre tous ses produits au montage. Il

faut donc que, d'une part, la forge et la fonderie soient près de l'ajustage; de l'autre, l'ajustage et la chaudronnerie près du montage.

Il nous semble que l'on arrive à remplir ces conditions d'une manière satisfaisante en plaçant le montage au centre d'une cour entourée sur 3 de ses faces par la forge, la fonderie, la chaudronnerie et l'ajustage (fig. 1re, Planche XII); cet atelier, formant la face intermédiaire, et la fonderie formant avec la forge l'une des deux ailes dont l'autre est tout entière affectée à la chaudronnerie. Comme la forge produit infiniment plus que la fonderie, c'est elle qui est contiguë à l'ajustage.

L'espace couvert correspondant à un forgeron est moitié de l'espace total qui lui est affecté, ou $\frac{40}{2} = 20$ mètres quarrés. 20 forgerons font $20 \times 20 = 400$ mètres quarrés qui, d'après la disposition des forges, doivent former un rectangle de 5^m de large sur, par conséquent, 80^m de long, ou mieux, 10^m de large sur 40 mètres de long, en adossant les groupes de feux 2 à 2.

L'espace couvert correspondant à un mouleur est aussi moitié de l'espace total qui lui est affecté, ou $\frac{100}{2} = 50$ mètres quarrés. 4 mouleurs font donc 200 mètres quarrés ou 10^m sur 20 mètres.

Donc : 1re aile : largeur 10^m.
longueur $40 + 20 = 60^m$.

L'espace couvert, correspondant à un chaudronnier, est moitié de l'espace total affecté, donc $\frac{50}{2} = 25$ mètres quarrés. A 20 chaudronniers, cela fait 500 mètres quarrés, ou $10^m \times 50$ mètres. La seconde aile ayant 10 mètres de moins en longueur que la première, on fera disparaître cette inégalité en donnant à l'ajustage les 100 mètres q. qui forment le coin commun avec la chaudronnerie; de cette manière les longueurs des deux ailes, mesurées dans la cour intérieure, seront égales.

L'espace couvert correspondant à un ajusteur est 20 mètres q.; donc, pour 40 ajusteurs, il sera 800 mètres quarrés, ou $10^m \times 80^m$. Mais, si nous voulons conser-

ver la disposition quarrée de l'usine, le bâtiment de l'ajustage ne peut avoir plus de 50m de longueur sur la cour intérieure, ce qui fait 60m avec les 10m qu'il prend à la chaudronnerie. Il est possible de trouver la place de tous les outils avec cet espace seulement, comme nous allons le voir.

Le coin de la forge contigu à l'ajustage, de 100 mètres quarrés, peut être affecté aux machines à vapeur de ces deux ateliers avec avantage.

D'une part, il nous faut 1/2 cheval par ajusteur, ou 20 chevaux; de l'autre, 1/5 de cheval par forgeron, ou 4 chevaux, plus 2 chevaux pour cubilot, plus 5 chevaux pour martinets et 1 cheval pour moulin à sable et à charbon; total : 12 chevaux.

20 + 12 = 32 chevaux pouvant s'effectuer au moyen de 2 machines horizontales de 16 chevaux, communiquant le mouvement au cylindre soufflant, soit par l'intermédiaire d'une manivelle, d'une bielle et d'un balancier, soit par la manivelle et la bielle seulement, en plaçant ce dernier horizontalement; et communiquant le mouvement aux martinets par une courroie qui rend ainsi les machines indépendantes des chocs des martinets. L'emploi de 2 machines accouplées a cet avantage que la réparation de l'une d'elles ne fait pas chômer tout un atelier, qui souvent est pressé de besogne; l'emploi de 2 machines horizontales présente en outre une grande simplicité, peu d'entretien nécessaire, beaucoup de stabilité et peu de frais.

Les machines ainsi placées, il reste à l'ajustage 60 mètres de long dont 50 avec fenêtres sur la cour intérieure. Laissons 10m au milieu de cet atelier pour les portes et entrée du chemin de fer formant un quarré, aux quatre coins duquel seront 4 machines à percer. On pourra disposer sur chaque face, de 40 mèt. de fenêtres; donc 80m sur les deux, où l'on placera les 40 ajusteurs. Derrière ces derniers, sur une face seulement, les 40 mèt. disponibles nous donneront la place des 20 tourneurs. Au milieu régnera un chemin de fer; c'est donc dans l'espace symétrique à celui occupé par les tourneurs que devront se placer tous les gros outils, les 100 mètres quarrés du coin de la chaudronnerie n'étant que juste ce qu'il faut pour le cabinet du contre-maître, les magasins, la forge de réparation des burins, etc., et l'escalier de l'étage supérieur où seront les menuisiers, modeleurs, etc.

Le bâtiment ayant 10^{m} de largeur intérieure, la moitié 5^{m} contient déjà 2^{m} d'ajusteur et 1 mètre de chemin de fer ; reste 2^{m} pleins pour les gros outils auxquels cette largeur suffit, et qui occupent en longueur :

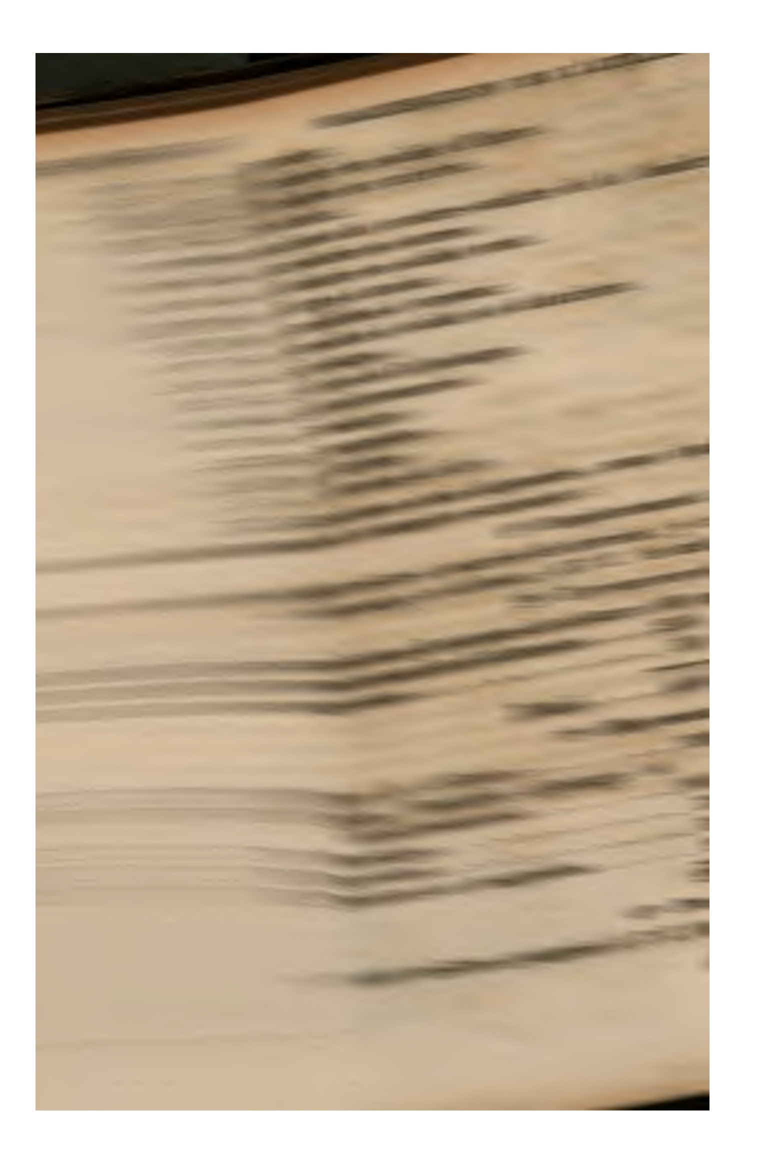
1	Alésoir horizontal.	3m
1	Alésoir vertical.	2
2	Tours pour roues et essieux.	6
1	Grande machine à raboter.	12
1	Moyenne *id.*	8
3	Petites *id.*	6
2	Machines à tarauder.	6
2	Machines à parer.	6
	Total. . . .	49m

49^{m} au lieu de 40^{m} disponibles. Il sera possible de prendre les 9^{m} qui manquent sur les 10^{m} réservés du côté de la chaudronnerie ; on y placerait alors les machines à parer et l'alésoir horizontal. Du reste, la disposition des gros outils est tout-à-fait arbitraire, l'important est qu'il y ait de la place suffisamment pour les loger.

Les ateliers ainsi disposés, le bâtiment de l'administration et de la direction se place naturellement sur la façade antérieure donnant sur la route près les portes d'entrée, dont une seule est gardée par un portier, l'autre ne s'ouvrant que rarement. Entre le montage et le bâtiment de l'administration, se trouve un bâtiment appelé *magasin*, spécialement affecté au dépôt des matières premières et des produits confectionnés. Dans le plan représenté fig. 1, Pl. XII, nous avons porté l'espace occupé par l'usine à 90^{m} de côté au lieu de 80^{m} ; ce, afin de laisser plus de place dans les cours des différents services où se font toujours quelques constructions, comme fours à réverbères, moulins à sable, etc., et où se déposent une foule de pièces qui ne servent pas constamment.

On aura ainsi :

a, logement de l'administrateur.
b, logement du directeur.
c, cabinet de l'administrateur.
d, comptabilité.
e, caisse.
f, bureau des ingénieurs et dessinateurs.
g, cabinet du directeur.
h, jardin.



Report. . . .	84820 f.

5° *Carrelage.*

500 mètres quarrés à 2 f. 60.	1300

6° *Charpente.*

Planchers, 50 m. c. chêne façonné à 120 f. le mètre cube.	6000
100 m. c. sapin façonné à 75 f. le m. c.	7500
Toitures, 125 fermes de 3 m. c. = 375 m. c. sapin façonné à 75 f.	[illegible]

7° *Couverture.*

5000 m. quarrés de tuiles posées sur lattis à 4 f. 50.	22500
500 m. q. d'ardoises posées sur lattis à 3 f. 95.	1970

8° *Menuiserie.*

2 portes cochères en chêne, 30 m. quarrés à 25 f.	750
60 portes pleines ordinaires en chêne = 100 m. quarrés, à 9 f.	900
60 portes pleines ordinaires en sapin = 100 m. q. à 6 f.	600
200 croisées en chêne = 400 m. q. à 9 f. . . .	3600
32 persiennes = 64 m. q. à 13 f.	830
200 m. q. de plancher en sapin à 5 f.	1000
1000 m. q. de cloisons en bois de bateaux à 10 f.	10000
200 m. q. d'escaliers en bois de chêne à 30 f. .	6000

9° *Peinture.*

10000 m. q. à l'huile, en trois couches à 1 f. 25.	12500

10° *Vitrerie.*

400 m. q. à 5 f.	2000

11° *Serrurerie.*

2 portes cochères à 100 f.	200
120 portes ordinaires à 8 f.	960
200 croisées à 5 f.	1000
32 persiennes à 5 f.	160
Total. . . .	192590 f.

Net. . . . 200000 f.

§ 3. *Mobilier.*

1° *Forges à main.*

Quel que soit le système de machines à vapeur adopté pour les forges et l'ajustage, la forge absorbe pour elle seule une force de 12 chevaux, 6 pour sa soufflerie et 6 pour les martinets, faisant, soufflerie et transmission de mouvement comprises, une somme de	23000 f.		
2 martinets complets à 3000 f. . . .		6000	
3 fours à réchauffer pour roues et essieux de locomotives, à 3000 f. . .		9000	
20 forges à main, dais, cheminées, grues et baches comprises, à 500 f.		10000	
20 enclumes de 400 k. à 700 f.		14000	
200 k. d'outils par forgeron = 4000 k. fer et acier, à 1 f. 25		5000	
1000 k. d'outils généraux, tels que mandrins, calibres, etc., à 1 f. 25		1250	
10 gros étaux pour courber à chaud, à 150 k. l'un, ensemble 1500 k. à 2 f.		3000	
20 étaux de serruriers = 75 k. × 20 = 1500 k. à 2 f.		3000	
Etablis.		4000	
Balances, bureaux, magasin, etc. .		1750	80000 f.

2° *Fonderie.*

20,000 kil. de châssis à 35 f.	7000 f.	
2 cubilots à 3000 f. l'un	6000	
Grues, tables, séchoir.	8000	
Moulins	6000	
Mobilier des modeleurs.	1500	
Bureaux, magasins, divers..	1500	30000 f.

3° *Chaudronnerie.*

Machine à percer et couper la tôle . .	3000 f.	
Outils divers.	3500	
2 fours à réchauffer, à 2000 f	4000	
Bureau, magasins, divers.	1500	12000 f.
	A reporter. . . .	122000 f.

Report. . . .		122000 f.

4° *Ajustage*.

20 chevaux de force et transmission du mouvement	30000 f.	
Courroies.	5000	
Un banc de tours à crochet, 6000 k. à 50.	3000	
15 tours à crochet et à engrenages, de 800 f. pièce	12000	
5 tours parallèles, de différentes longueurs, à 5000 f.	25000	
Un petit alésoir horizontal	2500	
Un petit alésoir vertical	2500	
Un gros tour pour roues et essieux .	6000	
Un petit rabot de 1m.50	2500	
Un rabot de 4 mètres.	6500	
Un rabot de 7 mètres.	11000	
3 machines à percer, de 2000 f. . . .	6000	
3 machines à tarauder, de 2000 f. . .	6000	
2 machines à parer, de 7000 f. . . .	14000	
1 machine à tailler les écrous.	2500	
40 étaux d'ajusteurs, à 150	6000	
Etablis.	2000	
2 meules, à 150 f.	300	
Balances.	1000	
3000 k. outils divers en fer et acier à 5 f.	15000	
Bureau, magasins, etc.	1200	160000 f.

5° *Montage*.

1 machine à percer.	2000 f.	
Outils de monteurs.	5000	
Grues, palans, divers.	5000	12000 f.

6° *Bureaux*.

Meubles, outils, livres, fournitures, etc. . .	10000 f.
Total général. . . .	304000 f.

Net. . . . 300000 f.

De là :	Immeubles.	200000 f.
	Mobilier	300000
	Fond de roulement.	100000
		600,000

SECTION TROISIÈME.

Roulement de l'usine.

Les lettres arrivant à l'usine et ayant rapport à la fabrication, sont de deux espèces, savoir :

Celles qui demandent un renseignement quelconque ;

Celles qui font une commande définitive.

Dans tous les cas, elles sont décachetées par l'administrateur.

Si elles demandent des renseignements, envoi en est fait à la correspondance qui la communique au directeur. Ce dernier fait lui-même, ou fait faire par ses ingénieurs, une réponse qu'il signe et renvoie à la correspondance avec la lettre.

Copie de la réponse est faite, signée par l'administrateur et jetée à la poste.

La demande et la réponse sont conservées dans un dossier classé par ordre alphabétique des noms des correspondants.

Si la lettre est une commande définitive, envoi en est fait à l'inscription des commandes, où elle est copiée sur le livre y relatif et sur une feuille volante que l'on abandonne au directeur : la minute se place dans un dossier classé aussi par ordre alphabétique des acheteurs.

Le directeur a trois cartons, savoir :

1° Commandes à exécuter,

2° Commandes en exécution,

3° Commandes exécutées.

C'est dans chacun de ces trois cartons que sont placées successivement les copies des marchés passés entre l'administrateur et les acheteurs, au fur et à mesure que les commandes, auxquelles ils se rapportent, s'exécutent.

Lorsqu'une feuille de commande doit passer du premier carton, au second, le directeur l'étudie, et prépare, d'après ses exigences, un projet demi-écrit, demi-croqué, qu'il expédie au bureau des ingénieurs.

Là, le projet est étudié à fond, puis soumis à l'approbation du directeur. Quand une fois on est bien d'accord sur l'ensemble, on procède à l'étude des pièces séparées que l'on a soin de classer sur les feuilles de dessin, de manière que les commandes à la forge et à la fonderie puissent se faire séparément. Les dessins pour la fonderie sont généralement à l'échelle du $^1/_5$ ou du $^1/_{10}$; ceux pour la forge, sont toujours en grandeur naturelle.

Les détails exécutés et approuvés par le directeur, un plan d'ensemble en est fait par un dessinateur tant pour le montage que pour vérification et envoi de copies aux acheteurs.

Le travail du bureau des ingénieurs terminé, tous les dessins relatifs à une commande sont marqués : 1° du numéro d'inscription de la commande; 2° d'un numéro propre à chacun d'eux dans cette commande. Ils sont ensuite répartis entre les contre-maîtres de la forge et de la fonderie, qui en font exécuter ce qui les concerne, et les expédient à l'ajustage, avec les produits de leurs ateliers qui s'y rapportent. L'ajustage finit les pièces et expédie au montage sans les dessins de détails que le contre-maître rend au bureau des ingénieurs, en échange du plan d'ensemble qui doit accompagner la machine à monter. Le travail du montage achevé, la machine est démontée, autant qu'il est nécessaire, et livrée au magasin des produits confectionnés, avec le plan d'ensemble que le garde-magasin échange contre les dessins de détails, afin de vérifier si tout y est, et de marquer les pièces des mêmes numéros qu'elles portent dans les dessins. Ensuite il pèse séparément chaque pièce et fait un devis détaillé de la machine qu'il a reçue. Copie de ce devis est livrée au directeur, qui en déduit approximativement le bénéfice réalisé, et le place dans un carton spécial pour le consulter au besoin. Enfin, on enduit toutes les pièces de suif, les emballe, expédie, et renvoie tous les dessins au bureau des ingénieurs, où ils sont placés dans un casier spécial pour servir à l'occasion.

Toutes les fournitures relatives à la série des opérations que nous venons de définir, ont été faites par le magasin des matières premières et se composent de :

1° Aux bureaux de l'administration :

Papier, encre, plumes, crayons, règles, canifs et tout ce qui constitue des fournitures de bureau.

2° Aux bureaux de la direction :

Papier, encre, plumes, crayons, règles, équerres, canifs, compas, couleurs, pinceaux, etc.

3° A la forge :

Fers en barre, aciers, outils divers et combustible.

4° A la fonderie :

Fonte, sable, huile pour lampes, outils et combustible.

5° A l'ajustage :

Outils, éclairage et combustible.

6° Au montage :

Outils, éclairage et combustible.

7° A l'expédition :

Suif, batafile et caisses.

Toutes ces fournitures ont été échangées contre des reçus indiquant, autant que possible, la commande pour laquelle elles ont été faites. Nous disons autant que possible, parce qu'il existe une foule de matières qui se prennent pour approvisionnements et ne peuvent s'affecter à une commande spéciale. Ce n'est qu'au bout de l'année que l'on connaît exactement les dépenses du magasin des matières premières, et que l'on peut les répartir sur les différentes commandes exécutées.

RÉSUMÉ.

Pour une fabrication de 1 locomotive par mois, on dépensera au maximum :

Intérêt de 200000 f. d'immeubles à 10 pour 100 par an, y compris l'entretien.	1666 f.
Intérêt de 300000 f. mobilier à 15 pour 100 par an, y compris l'entretien	3750
Intérêt de 100,000 f. fond de roulement, à 5 pour 100 par an.	417
Matières premières.	16000
Main-d'œuvre 210 × 25 × 2 f. 70.	13200
Employés	4000
	39033 f.

Net. . . . 39,000 f.

En vendant 40000 f., on aura un bénéfice net de 1000 f. tous frais payés, plus les produits de la fabrication ou des réparations que peut rapporter l'excédant du nombre des ouvriers indispensables pour fabriquer une locomotive par mois.

Si l'on fait abstraction de l'intérêt du capital, on trouve que la dépense maxima correspondant à une locomotive est de 33000 f. Restent donc 7000 f. de bénéfice par mois, ou 7000 × 12 = 84,000 f, par an, c'est-à-dire 14 pour 100. Nous ne doutons nullement que l'on puisse atteindre le chiffre de 20 pour 100 avec une fabrication soignée, de l'ordre et des commandes suffisantes ; nous allons, du reste, envisager la chose sous un point de vue différent dans le prochain chapitre, ce qui nous permettra de vérifier l'exactitude des résultats de celui-ci.

CHAPITRE IV.

COMPOSITION DES LOCOMOTIVES.

Composer une locomotive, c'est résoudre le problème suivant :

Etant données, les fonctions et les dimensions théoriques des différentes parties dont l'ensemble constitue ce moteur, appliquer à sa confection les matériaux en usage dans l'atelier de construction ; assigner à chacun de ces matériaux, suivant sa nature, les places où il doit figurer ; et, déterminer les formes et dimensions des différentes pièces composantes, suivant le travail qu'elles ont à effectuer, l'espace qu'elles peuvent occuper et les ressources d'exécution dont on peut disposer.

Déjà nous connaissons, d'une part, les fonctions et dimensions théoriques des différentes parties composantes, de l'autre les matériaux en usage dans l'atelier de construction et les ressources d'exécution dont on peut disposer. Ce qui nous reste à faire maintenant se réduit donc à :

Appliquer à la confection des différentes parties d'une locomotive les matériaux en usage dans l'atelier de construction ; assigner à chacun d'eux, suivant sa nature, les places où il doit figurer ; déterminer les formes et dimensions des pièces composantes, suivant le travail qu'elles ont à effectuer, la place qu'elles peuvent occuper et les ressources d'exécution dont on peut disposer.

Pour parvenir à ce but, nous diviserons ce chapitre en deux articles, savoir :

1° Composition des parties séparées ;
2° Assemblage des parties composées.

ARTICLE 1er.

Composition des parties séparées.

Une locomotive, considérée sous le point de vue pratique, se divise en six parties principales, comprenant toutes les autres, savoir :

1° Les roues ;
2° Les cylindres, pistons et tiroirs ;
3° La transmission du mouvement des pistons aux roues motrices, tiroirs et pompes ;

4° La chaudière à vapeur ;
5° Le châssis ;
6° Les appareils de sûreté et d'alimentation.

Chacune de ces parties se compose de pièces ; les pièces se divisent en :

Pièces générales,
Pièces spéciales.

Les premières sont celles qui, toujours semblables de forme pour des fonctions analogues à remplir, se présentent dans différentes parties avec des dimensions déterminées par la résistance qu'elles ont à vaincre. Ces pièces, nous les avons étudiées dans le chapitre précédent ; nous n'aurons donc ici qu'à en indiquer la présence et les dimensions quand leur utilité se manifestera.

Les secondes sont celles dont les formes et dimensions sont déterminées par la nature du travail que doit effectuer la partie dans laquelle elles figurent. C'est l'étude et la détermination des poids, prix de revient et de vente de ces dernières, qui fera l'objet de cet article.

A cet effet, nous diviserons l'examen général de chaque partie séparée en six examens particuliers, qui seront :

1° Matériaux, 2° formes et assemblages ; 3° dimensions ; 4° construction ; 5° prix de revient ; 6° prix de vente.

§ 1er. *Roues motrices et petites roues.*

Le diamètre des roues motrices a été déterminé dans la seconde partie, suivant la largeur de la voie ; celui des petites roues est inconnu, et ne peut se déterminer que d'après la forme et la dimension du châssis. Si donc nous faisons marcher ces dernières de pair avec les roues motrices, c'est uniquement parce que leur mode de construction est le même.

1° *Matériaux*. Pendant longtemps les roues de locomotives se sont exécutées en bois avec cercles en fer et moyeu en fonte, non-seulement parce que cette substance avait été jusque-là affectée à ce genre de pièces, mais encore parce qu'elle possède une élasticité que n'ont pas les métaux, et que l'on regardait comme indispensable pour résister aux différents chocs auxquels les roues sont exposées pendant la marche. Ce préjugé, quoique fondé, n'empêcha pas quelques constructeurs de tenter la substitution du fer au bois, et les résultats qu'ils obtinrent furent tels, qu'aujourd'hui

on n'emploie plus que les roues construites avec ce métal.

Le constructeur qui, le premier, mit ce système en vogue, est M. Jones, de Londres.

2° *Formes*. Les premières roues que fit essayer M. Jones sur le chemin de Manchester à Liverpool, se composaient d'une jante à un cercle avec bras ronds, rivés dans la jante d'une part, et taraudés de l'autre pour être assemblés avec le moyeu par un simple écrou placé dans l'intérieur de ce dernier, sans embase extérieure. Ce mode d'assemblage avait pour but de n'exposer les bras qu'à l'effort de traction en leur laissant la faculté d'entrer dans le moyeu lorsqu'ils se trouvaient au-dessous du centre; il en résultait pour la jante une élasticité assez analogue à celle du bois; mais ce système n'était pas solide, et on l'a abandonné.

Depuis, toutes les modifications apportées aux roues en fer ont constamment eu pour but de diminuer le nombre des pièces composantes, en remplaçant les assemblages par des soudures. On peut se faire une idée de ces modifications en visitant les machines des différents constructeurs dont les roues peuvent se classer comme ci-dessous par ordre de perfection:

1° Les roues *Bury*, de *Liverpool*, ayant la jante composée de deux cercles, les bras ronds, aplatis en deux pattes du côté de la jante avec laquelle ils s'assemblent par deux boulons à deux têtes, dont l'une rivée à chaud; mortaisés dans le moyeu pour recevoir une clavette qui, avec une embase extérieure, les maintient à demeure dans ce dernier; moyeu en fonte.

2° Les roues *Sharp* et *Roberts* de *Manchester*, différant seulement de ces dernières en ce que les extrémités intérieures des bras sont noyées dans le moyeu de fonte.

3° Les roues *Stéhélin* et *Huber* de *Bitchwiller*, à jante composée de deux cercles, bras ronds à embase du côté de la jante, terminée par une queue posée à chaud et rivée dans cette dernière; ni embase ni clavettes au moyeu, mais épatement fort simple et fort ingénieux de l'extrémité, qui a pour but d'empêcher toute espèce de mouvement aux bras dans le moyeu, quand ce dernier, qui est en fonte, a été coulé dessus.

4° Les roues *Jackson* de *Leeds*, à deux cercles, dont l'un, le petit, composé d'autant de parties qu'il y a de bras, chacune de ces parties étant forgée avec le bras correspon-

dant; cercles réunis au moyen de boulons à deux têtes, dont l'une rivée à chaud, et placés dans tous les joints du cercle intérieur; bras à embase sur le moyeu, sans épatement intérieur, ce qui est moins solide que l'assemblage précédent; moyeu en fonte.

5° Les roues *Schneider frères* du *Creusot*, à jante composée de trois cercles, dont le petit, formé de plusieurs parties portant chacune deux bras soudés; à bras plats formant le tronc de pyramide quadrangulaire depuis la jante jusqu'au moyeu, dans lequel est la base, et remplissant ainsi le même but que la disposition de MM. Stéhélin et Hubert, tout en rendant la dimension proportionnelle à la résistance à vaincre; moyeu en fonte.

6° Les roues de la compagnie *Wigan* d'*Angleterre*, à jante composée de deux cercles ayant l'apparence d'un seul, bras plats soudés à la jante comme ci-dessus et noyés dans un moyeu en fer, le tout paraissant d'un seul morceau.

Ces dernières roues sont le *nec plus ultrà* de la perfection, et destinées à être exclusivement employées avant deux ans d'ici; aussi ne nous occuperons-nous que d'elles, pour la construction.

Il existe un autre système de roues adopté par MM. *Stephenson* de *Newcastle*, et *Charles Taylor de Warington*; ces roues sont à jante en fonte, avec cercle extérieur en fer, bras en fer creux, et moyeu en fonte. Ce système, d'une construction simple et économique, a sans doute quelque mérite, puisqu'il est préféré par M. Stephenson, mais, pour nous, ne paraît pas pouvoir soutenir la concurrence avec le précédent.

3° *Dimensions*. Les roues, système Creusot ou Wigan (fig. 1, Pl. X), construites avec $1^m.70$ de diamètre, soit à moyeu en fonte, soit à moyeu en fer, sont assez solides avec deux cercles seulement, celui de l'extérieur ayant 3 centimètres, et celui de l'intérieur 4 centimètres d'épaisseur. Les bras ont dans le haut 8 centimètres de large sur 2 d'épaisseur, et dans le moyeu 12 centimètres, largeur égale à celle des jantes, sur 3.5 d'épaisseur.

Le moyeu a, en fonte, $0^m.45$, et en fer $0^m.40$ de diamètre extérieur, avec une entrée des bras de 10 centimètres. Sa largeur est égale à 1.2 fois le diamètre de l'essieu à cet endroit. Pour les petites roues, on conserve les mêmes dimensions.

Le nombre des bras est variable; pour $1^m.70$, celui le plus convenable est 20 correspondant à un espacement de $0^m.27$ entre chaque bras sur la jante.

Pour des roues de 2^m et $2^m.30$, les dimensions croissent dans la même proportion que les diamètres.

4° *Construction*. Elle se divise en quinze opérations distinctes, qui sont :

1° Assemblage des bras et des jantes intérieures.
2° Construction des bras.
3° Assemblage des portions de jantes intérieures, 2 à 2, 3 à 3, 4 à 4, *n* à *n*, à volonté.
4° Ajustage des faces de contact des portions de jante intérieure.
5° Coulage du moyeu en fonte.
6° Tournage extérieur du cercle intérieur.
7° Construction du cercle intérieur.
8° Tournage intérieur de ce cercle.
9° Posage de ce cercle.
10° Cassage du moyeu de fonte.
11° Posage du moyeu de fer.
12° Posage des boulons à tête rivée dans le cercle extérieur.
13° Alésage du moyeu,
14° Tournage général.
15° Ajustage à la main.

1° On prend du fer méplat (fig. 3, Pl. X) et on le pose, chauffé au rouge cerise, sur une matrice en fonte (fig. 2), représentant la forme du point d'assemblage. On frappe cette pièce au martinet jusqu'à temps qu'elle ait pris suffisamment l'empreinte de la matrice, et on la retire avec la forme de la fig. 4.

2° On soude une barre de fer plat à l'extrémité inférieure et lui donne la forme du bras.

3° On soude du fer aux deux autres extrémités, et réunit encore par une soudure deux portions de jantes, que l'on place par intervalles, pendant l'opération, dans le moule représenté fig. 5, destiné à maintenir constant l'écartement entre les bras. A mesure que le nombre des bras soudés ensemble augmente, l'opération devient plus difficile; aussi, quand le cercle intérieur est d'un seul morceau avec les bras, vaut-il mieux les souder de bout que d'employer cette méthode; l'assemblage est, il est vrai, moins solide, parce que,

dans ce cas, la soudure est presque toujours imparfaite, mais aussi la construction est infiniment moins difficile.

4° Quand la jante intérieure est de plusieurs parties, on la porte à l'ajustage, où ces dernières sont coupées de longueur à la machine à parer, dressées à la lime et présentées.

5° Toutes les parties d'une même roue étant portées à la fonderie, on les assemble et coule dessus le moyeu. Cette opération indispensable a l'avantage de serrer parfaitement tous les joints de la jante par le retrait qui se produit au refroidissement de la fonte, dont les bras ne peuvent sortir à cause de leur forme pyramidale. Pour éviter le blanchiment des parties de fonte en contact avec les bras, quand le moyeu est destiné à rester, on a soin d'allumer un feu de charbon de bois dans le moule, deux heures avant la coulée.

6° Le tournage extérieur du cercle intérieur se fait au gros tour. Il n'est pas nécessaire pour cela d'avoir alésé le moyeu; ce gros tour porte un emprunt de la dimension de la roue.

7° Pour faire le cercle extérieur, on prend une barre de fer, laminée d'avance avec un rebord, la coupe d'une longueur égale à la circonférence, et lui prépare une amorce à chacune de ses extrémités. On place cette barre, dans cet état, dans un four d'une longueur au moins égale à la sienne, et d'une largeur de 0m.50 environ. On la chauffe là au rouge cerise, et quand elle est parvenue à cette température, on l'enroule sur un mandrin en fonte représentant le diamètre extérieur du petit cercle moins 5 à 6 millimètres. On laisse refroidir et on soude à la forge de maréchalerie les parties amorcées.

Depuis quelque temps, en Angleterre, on a substitué le marteau au laminoir pour la fabrication des cercles à rebords. Cela provient de ce que les fers laminés, exposés à des frottements ou des chocs fréquents, se gercent et se décomposent en une série de lames analogues aux écharpes que fait le bois quand on le fend. Ces lames ne se forment pas par suite du travail du métal, elles y existent plus ou moins apparentes depuis son passage au laminoir dont l'effet est, tout en allongeant le fer, de le diviser en fibres parallèles, dont la résistance longitudinale augmente, mais dont la ténacité transversale est considérablement diminuée. Les produits de cette opération, qui accusent le plus généralement cette défectuosité, sont les tôles de fer, et, après elles, les

rails et les cercles à rebords des roues. Pour les rails il sera difficile d'y remédier, parce que leur fabrication, autrement qu'au laminoir, est très-dispendieuse; néanmoins, on y arrive en leur redonnant leur forme primitive rectangulaire sous des dimensions plus considérables. Pour les cercles à rebords, le marteau, quoique coûtant plus cher, y remédie complètement. Dans ce cas, l'opération consiste à prendre une barre de fer plat, préalablement laminée sur toute sa longueur, à la chauffer par places successives et à la placer chaque fois sous un martinet dans un moule en fonte, ne laissant sortir que la partie qui doit être recourbée à chaud.

8° On porte ce cercle sur le gros tour, qui lui donne un diamètre intérieur de 3 à 4 millimètres, moindre que celui extérieur du petit cercle.

9° On reporte ce cercle à la forge, où il est encore une fois chauffé au rouge cerise, dans un four quarré, capable de le contenir, puis sorti et posé à chaud sur le petit cercle. Il arrive généralement que ce cercle ne peut entrer dès la première chaude, par suite de son diamètre intérieur que l'on a toujours soin de faire plus petit, de crainte de le faire trop grand. Alors on a un second mandrin en fonte de deux parties séparées par des coins, dont le but est de permettre de serrer le cercle que l'on place dessus, et de l'enlever quand il est refroidi, ce à quoi on ne pourrait parvenir si le mandrin était d'une seule pièce, par suite du serrage énorme qui se produit par le refroidissement. Ce cercle, sorti de ce madrin, a conservé le diamètre qu'il avait étant chaud, et, si on le réchauffe de nouveau, il prend un nouveau diamètre qui lui permet d'entrer sur le petit cercle. Il est bon de ne jamais dépasser deux chaudes, car, comme nous l'avons dit, en parlant des propriétés de ce métal, les chaudes rendent le fer cassant.

10° Le cassage du moyeu de fonte, dans le cas où on veut mettre un moyeu en fer, s'opère à coups de masse, et comme on a eu soin de le faire assez léger, puisqu'il n'était pas destiné à rester, cette opération s'exécute facilement.

11° On chauffe au rouge blanc une balle de fer que l'on place sur l'enclume du martinet, au centre de la roue, chauffé lui-même préalablement aussi. Puis on frappe de manière à étaler cette balle et la faire pénétrer entre les bras. L'opération terminée, on pare les interstices au dégorgeoir, par petites chaudes successives.

12° On porte la roue à l'ajustage et l'on perce des trous à tous les points de jonction des parties de la jante intérieure. Ces trous percés, on fraise la partie qui se trouve dans le cercle extérieur, d'abord au bédanne et ciseau rond, puis à la fraise. On chauffe des boulons à tête ronde, les entre par l'intérieur et frappe à deux ouvriers sur l'extrémité extérieure, pendant qu'un troisième maintient la tête serrée contre le cercle intérieur au moyen d'un levier en fer, portant sur un remplissage en bois placé entre les bras.

13° On alèse le moyeu, en prenant pour centre, le centre de la circonférence moyenne, à moins que le cercle extérieur n'ait une défectuosité qu'il faut faire disparaître.

14° On place la roue sur son essieu, la cale à deux clavettes, une quarrée, prisonnière, et une demi-ronde, à angle droit avec la première ; puis on tourne tout l'extérieur de la roue, y compris le moyeu.

15° L'ajustage consiste dans un abattage des angles vifs des bras, ce qui en rend le coup d'œil plus agréable.

Il est une autre méthode pour fabriquer les moyeux en fer, et qui consiste à considérer ces derniers comme des portions de bras. Alors, on fabrique les bras par la méthode ordinaire en leur soudant la partie du moyeu qui leur correspond : on ajuste parfaitement les faces de contact et on assemble. Pour maintenir le moyeu aussi solide que s'il était d'un seul morceau, il suffit de le munir de chaque côté d'une frette en fer, posée à chaud sur deux saillies ménagées à cet effet.

Pour faire les roues d'une seule pièce apparente, en conservant la méthode de soudage des bras aux jantes que nous avons indiquée, on termine par 2 triangles vides opposés, tous les points de jonction des portions de jantes formant le petit cercle, et on rapporte à chaud deux morceaux de fer prismatiques à base triangulaire qui remplissent complètement le vide ménagé.

5° *Prix de revient.* Une roue de 1m. 70 de diamètre à moyeu en fer, pèse moyennement 1,000 kilog., et coûte par conséquent en matière première, 500 fr.

La décomposition du prix de revient de la main-d'œuvre dans chaque opération, peut se faire ainsi ;

1°	Chauffage et façon de 20 T à 0 fr. 25 . . .	5 f.
2°	Soudage et forgeage de 20 bras à 3 f. 50. . .	70
3°	Assemblage en 10 couples à 8 f.	80
4°	Ajustage de 20 faces, à 1 f. 50.	30
5°	Coulage du moyeu en fonte	10
6°	Tournage extérieur du petit cercle.	10
7°	Construction du grand cercle.	25
8°	Tournage intérieur de ce cercle.	10
9°	Posage de ce cercle	15
10°	Cassage du moyeu de fonte	1
11°	Posage du moyeu de fer.	40
12°	Posage des boulons à deux têtes.	25
13°	Alésage du moyeu	1
14°	Tournage général.	20
15°	Ajustage	20
		352 f.

Nous avons donc :

Matière première.	500
Main-d'œuvre	352
	852

Si nous recherchons dans le chapitre précédent quel est le rapport entre le prix de revient de la matière première, plus la main-d'œuvre et le prix de revient total, nous trouvons que ce dernier est :

Pour	le fer	1.75 fois le premier.
	la fonte	2.00
	le cuivre	1.20
	la tôle	1.20

Si de même nous cherchons quel doit être le prix de vente par rapport à celui de la matière première, plus la main d'œuvre, nous trouvons :

Pour	le fer	2.00 fois le premier.
	la fonte	2.50
	le cuivre	1.50
	la tôle	1.40

Nous en déduisons :

Prix de revient $1.75 \times 852 = 1500$ fr.
Prix de vente $2 \times 852 = 1700$

$$\frac{1700}{1000} = 1 \text{ f. } 70 \text{ le kilog.}$$

Une petite roue ayant $1^m.10$ de diamètre pèse 500 k. Etablissant une progression entre les poids de ces dernières et ceux des roues de $1^m.70$, nous obtiendrons pour poids et prix de vente, assez rapprochés, de toutes les roues, les nombres suivants :

Diamètres.	Poids.	Prix de vente du kilog.	Total.
mètre.	kil.	fr.	fr.
1.00	445	2.05	900
1.10	500	2.00	1000
1.20	561	1.95	1100
1.30	630	1.90	1200
1.40	708	1.85	1300
1.50	795	1.80	1450
1.60	893	1.75	1550
1.70	1000	1.70	1700
1.80	1120	1.70	1900
1.90	1260	1.70	2150
2.00	1450	1.70	2450
2.10	1630	1.70	2800
2.20	1830	1.70	3100
2.30	2050	1.70	3500
2.40	2300	1.70	3900
2.50	2600	1.70	4400

A partir de $1^m.70$ nous conservons le même prix de vente du kilog., parce que la difficulté d'exécution croît proportionnellement au diamètre.

§ 2. *Cylindres à vapeur.*

Ce paragraphe comprend : les cylindres, les boîtes à vapeurs, les pistons, les tiroirs, les tiges et le mouvement de la détente.

1° *Matériaux*. Ils se composent généralement de fonte, fer et cuivre, dans les proportions :

60 fonte.
5 fer.
1 cuivre.

La fonte sert à faire les cylindres, leurs fonds, les boîtes à vapeur, les tiroirs et les pistons; le fer, les boulons et les tiges; le cuivre, les stuffing-box et les grains.

2° *Formes*. Les cylindres de locomotives diffèrent en quelques points des cylindres ordinaires de machines fixes. Comme ils sont maintenus en place au moyen de la plaque de tôle forte sur laquelle s'assemblent les petits tubes, laquelle plaque les relie au reste du mouvement par les entretoises, il faut que leur bride puisse s'assembler, non-seulement avec le couvercle, mais encore avec cette plaque. Pour cela, on fait la bride soit quarrée, comme dans la locomotive représentée Planche IX, avec les quatre boulons aux quatre coins, soit ronde et double, comme dans la fig. 11 (Planche X). La bride double, c'est-à-dire à face intérieure et face extérieure, présente l'avantage de n'exiger pour le couvercle qu'un diamètre égal au diamètre extérieur du cylindre, ce qui laisse de la place pour loger les entretoises sur la plaque, tandis que l'autre disposition force à les assembler avec le couvercle même, assemblage tout-à-fait incommode pour les réparations. Dans le premier cas, le couvercle est serré par des boulons taraudés dans la bride intérieure. Comme dans toutes les machines bien faites, les brides sont munies de portées tournées et coïncidant parfaitement, ce qui évite le masticage du joint.

Le piston et sa tige doivent être construits de telle manière qu'ils se retirent par derrière, et le couvercle du piston doit être de ce côté, afin qu'on puisse refaire la garniture sans être obligé de l'enlever complètement. La meilleure garniture du piston est sans contredit celle à cercles de fonte très-minces sur un premier lit de chanvre qui, bien serré, agit comme un ressort.

Les tiroirs sont de deux espèces : à détente et sans détente. Quand ils sont sans détente, il est préférable d'en mettre deux pour diminuer la longueur du canal d'écoulement de la lumière à l'intérieur du cylindre, canal constituant une perte de vapeur égale à son volume pour chaque

coup de piston. Quand ils sont à détente, l'expansion de la vapeur contenue dans ce canal, réagissant contre le piston, fait que la perte est presque nulle et ne nécessite pas cette précaution; cela est d'autant mieux que, par le mode de détente que nous avons adopté, il serait impossible d'en mettre deux.

Les fig. 11, 12, 13 et 16, présentent un tiroir à détente avec l'appareil qui sert à rendre cette dernière variable à la main et à chaque instant. Quand on présente à la *tuile* supérieure le plus petit axe du taquet, la détente a lieu à la moitié de sa course, c'est la détente minima; quand on présente le grand axe, la détente a lieu au $^1/_8$ de la course, c'est la détente maxima.

Ce système de détente à deux tiroirs superposés n'est pas exécuté de la même manière par tous les constructeurs. On peut voir comment M. Edwards l'exécute, dans le Bulletin de la Société d'encouragement d'avril 1837. Nous croyons indispensable de faire la longueur de la tuile supérieur égale à l'espace compris entre les deux lumières, plus la longueur d'une lumière, sans quoi la vapeur rentre à la fin de la course, quand on détend à un point élevé.

Les boîtes à vapeur se construisent généralement de telle sorte, que l'assemblage avec le cylindre et avec le couvercle se fasse par un seul boulon à tête intermédiaire (fig. 15), taraudé à ses extrémités pour recevoir deux écrous, et enveloppé de fonte, sur toute sa longueur, pour être à l'abri de l'action oxidante de la fumée. La prise de vapeur se fait tantôt sur le côté, tantôt dessus la boîte dont le couvercle n'occupe plus alors qu'une partie.

Quant à la sortie de la vapeur, communiquant avec le tuyau d'injection, par un raccordement circulaire, il faut, autant que possible, lui donner une direction courbe vers la cheminée, afin que la vapeur sortant d'un des cylindres n'aille pas réagir sur le piston du cylindre voisin. Lorsque la machine est à détente, cette précaution n'est pas indispensable, parce que la vitesse d'écoulement est faible; mais sans détente, elle est de la plus haute importance, en ce qu'elle influe considérablement sur l'effet utile.

3° *Dimensions*. Théoriquement, les dimensions des différentes parties du cylindre à vapeur devraient être déterminées d'après la longueur du diamètre. En pratique, il n'en est pas ainsi, parce qu'il y a toujours une dimension

minima pour que le métal subisse, d'une manière convenable, les diverses opérations auxquelles il est soumis dans le travail de l'atelier. Il en résulte que les quantités de matière employée dans une machine ne sont pas proportionnelles à leur force, et se rapprochent d'autant plus des dimensions théoriques que les machines sont plus puissantes. Nous allons indiquer toutes les dimensions des cylindres que l'expérience a signalées comme les meilleures pour huit diamètres de pistons usités.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	DIAMÈTRES DES PISTONS.							
	m. 0.25	m. 0.30	m. 0.35	m. 0.40	m. 0.45	m. 0.50	m. 0.55	m. 0.60
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Epaisseur des cylindres. . .	0.025	0.025	0.030	0.030	0.035	0.035	0.040	0.040
Epaisseur des brides. . . .	0.030	0.030	0.035	0.035	0.040	0.040	0.045	0.045
Longueur des brides.. . . .	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08
Diamètre des boulons. . . .	N° 21	21	25	25	30	30	35	35
Nombre des boulons. . . .	23	23	23	23	23	23	23	23
Entrée des couvercles. . . .	0.025	0.025	0.03	0.03	0.035	0.035	0.04	0.04
Epaisseur totale des pistons. .	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
Jeu total.	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
Diamètre de la tige du piston.	N° 45	45	50	50	55	55	60	60
—— de la tige du tiroir..	18	18	21	21	25	25	30	30
—— de la tige du taquet.	21	21	25	25	30	30	35	35
Épaisseur des boîtes à vapeur.	0.015	0.015	0.018	0.018	0.021	0.021	0.025	0.025
Diamètres des boulons à vapeur.	N° 15	15	18	18	21	21	25	25
Nombre des boulons. . . .	12	12	14	14	16	16	18	18
Epaisseur des tiroirs. . . .	0.010	0.010	0.012	1 012	0.015	0.015	0.018	0.018
Longueur des brides de la boîte à vapeur..	0.03	0.03	0.036	0.036	0.042	0.042	0.050	0.050

4° *Construction.*

1° Forge. Le travail de la forge consiste dans la confection de tiges rondes, de boulons, cadres pour les tiroirs et autres petites pièces dont le travail simple n'a besoin d'aucune explication.

2° Fonderie. Il y a d'abord pour les modeleurs à exécuter, neuf modèles qui sont :

Le cylindre.
Son fond.
Son couvercle.
La boîte à vapeur.
Son couvercle.
Le tiroir inférieur.
Le tiroir supérieur.
Le corps de piston.
Son couvercle.

Cette besogne faite, on joint à ces 9 modèles ceux de stuffing-box et grains des trois tiges, et porte le tout à la fonderie où les moulages s'exécutent par les procédés que nous avons décrits plus haut; le cylindre se moule en sable d'étuve et le reste en sable vert.

3° Ajustage. On commence par alèser le cylindre, en ayant soin de tourner ses portées sur l'alésoir même, afin d'être sûr que leur plan est bien perpendiculaire à celui des génératrices intérieures. Suivant que la fonte est souffleuse, dure ou de bonne qualité, on passe plus ou moins de fois l'alésoir; il en résulte que le diamètre rigoureux du cylindre ne peut se déterminer *à priori*, et se trouve tantôt plus petit, tantôt plus grand que celui sur lequel on comptait.

Le cylindre alésé, on tourne le couvercle et le fond dont les entrées ne sont déterminées de diamètre qu'après cette première opération. En même temps, on rabote la plate-forme du tiroir, parallèlement aux arêtes du cylindre; on rabote aussi les tiroirs et les portées des boîtes à vapeur. On tourne le piston et son couvercle, pose à chaud dans le piston les remplissages en fer qui servent d'écrou aux boulons de serrage, tourne les cercles, et, si l'on veut, la plaque de fonte rapportée sur le couvercle avec trous quarrés à l'endroit des têtes des boulons, pour empêcher ces derniers de se desserrer pendant la marche. Au lieu de cette

plaque de fonte, dont le principal avantage est d'économiser la vapeur en remplissant un vide inutile, on met assez ordinairement un petit cercle en fer tangent aux boulons, et maintenu en place par deux vis.

D'autre part, on tourne les tiges, tourne et filte les boulons, taraude et pare les écrous, tourne et alèse les stuffing-box, rabote le taquet, etc., etc.

Toutes les pièces ainsi préparées sont données à un ou deux ajusteurs finisseurs qui les assemblent. Pour cela, ils commencent par polir toutes les faces planes qui ont été rabotées; ils dressent à l'éméri et à l'huile les faces de contact des tiroirs en les frottant l'une sur l'autre : ils marquent les places des trous à percer dans le cylindre, son fond, son couvercle, sa boîte à vapeur et le couvercle de cette dernière; ils assemblent le piston avec sa tige, coupent cette dernière de longueur et font la mortaise de l'extrémité qui s'assemble avec le T. Il est bon de remarquer, en passant, que cette mortaise ne se fait que dans le cas de locomotives, parce que les distances et longueurs sont observées rigoureusement; dans toute autre machine, cette mortaise ne s'exécute qu'au montage. Ensuite, ils assemblent le taquet avec sa tige, le cadre du tiroir avec la sienne, font entrer le tiroir dans son cadre, placent les tringles qui guident le tiroir supérieur, posent les boulons des stuffing-box, et, quand tout est bien préparé ainsi, font l'assemblage général et expédient au montage.

5° *Prix de revient.* Il n'est pas facile de déterminer le prix de revient pour les huit diamètres que nous avons envisagés, si nous avons égard aux augmentations de longueur des courses résultant de la largeur de la voie. Afin de ne pas compliquer la question, nous considérerons les poids comme égaux pour un même diamètre de piston, quelle que soit la longueur des cylindres. La conséquence de cette manière d'agir n'aura d'influence que sur les matières premières, particulièrement la fonte, dont la valeur est fort peu de chose par rapport à la main-d'œuvre, qui est la même dans les trois cas.

On aura ainsi, en comprenant dans le prix de revient de 1 cylindre, la moitié du prix de revient de l'appareil servant à rendre la détente variable à la main ;

Diamètres des pistons.	Fonte.	Fer.	Cuivre.
mèt.	kil.	kil.	kil.
0.25	350	70	7
0.30	400	80	8
0.35	450	90	9
0.40	500	100	10
0.45	550	110	11
0.50	600	120	12
0.55	650	130	13
0.60	700	140	14

Le fer et le cuivre constituant des boulons, stuffing-box, seront évalués, pour la main-d'œuvre, comme les pièces générales correspondantes, indiquées dans le chapitre précédent. La fonte sera évaluée ainsi :

	DIAMÈTRES DES PISTONS.							
	m. 0.25	m. 0.30	m. 0.35	m. 0.40	m. 0.45	m. 0.50	m. 0.55	m. 0.60
	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.
Fonderie. .	30	33	36	39	42	45	48	51
Alésoir. . .	5	6	7	8	9	10	11	12
Tour. . . .	10	11	12	13	14	15	16	17
Rabot. . .	15	17	19	21	23	25	27	29
Foret. . . .	10	11	12	13	14	15	16	17
Taraudage.	5	6	7	8	9	10	11	12
Ajustage. .	50	55	60	65	70	75	80	85
	125	139	153	167	181	195	209	223

Ajoutant la valeur de la matière première,

f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.
87.50	100	112.50	125	137.50	150	162.50	175

On aura :

	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.	f.
Fonte ajustée.	212.50	239	365.50	292	318.50	345	371.50	398
Fer.. . . .	150. »	160	170. »	180	190. »	200	210. »	220
Cuivre. . .	25. »	30	35. »	40	45. »	50	55. »	60
	387.50	429	470.50	512	553.50	595	636.50	678

Le fer est évalué au prix du kil. de boulons de boîtes à vapeur; le cuivre à la valeur des stuffing-box correspondants.

On déduit de là, en admettant que les prix de revient et de vente sont comme pour le fer, cela afin de simplifier autant que possible :

Prix de revient : 1.75 fois les prix ci-dessus, ou :

680f. 750f. 825f. 900f. 970f. 1,040f. 1,110f. 1,190f.

Prix de vente : deux fois les mêmes prix ci-dessus :

775f. 855f. 950f. 1,030f. 1,110f. 1,190f. 1,270f. 1,360f.

§ 3. *Transmission du mouvement aux roues motrices, tiroirs et pompes.*

Cette transmission comprend :

1° Les essieux coudés;
2° Les entretoises et guides;
3° Les bielles, têtes des tiges de pistons et de pompes;
4° Mouvement des tiroirs.

1° *Essieux coudés.*

1° *Matériaux.* Les essieux coudés sont toujours en fer et d'une seule pièce. Pendant un temps la grande difficulté que l'on éprouvait à les exécuter, a fait essayer de leur substituer des essieux en fonte; malgré les dimensions considérables que l'on donnait à ces derniers, ils cassaient toujours, aussi maintenant y a-t-on complètement renoncé, et ne songe-t-on plus qu'à perfectionner les méthodes d'exécution de ceux en fer.

2° *Formes.* Munis de deux manivelles coudées à angle droit, les essieux sont portés près de leurs extrémités, par les roues motrices auxquelles ils communiquent le mouvement de rotation qu'ils reçoivent des bielles; de plus, ils ont, à leurs extrémités, deux tourillons sur lesquels porte le châssis de la machine, par l'intermédiaire des ressorts. De chaque côté des coudes, le plus près possible, sont les coussinets, au moyen desquels ils ont la faculté d'osciller verticalement dans les entretoises.

C'est cette oscillation verticale qui nécessite la force que l'on donne généralement à ces pièces, ainsi que la liaison intime qui existe entre toutes leurs parties. En effet, d'une part, la charge qui a lieu aux extrémités tend à soulever le milieu de l'arbre par suite de la position intermédiaire des roues, et on ne peut éviter ce soulèvement qu'en faisant

faire corps aux boutons avec les extrémités des manivelles; d'autre part, s'il se manifeste un choc à l'une des roues pendant la marche, il faut que les boutons résistent à l'effort de rupture transversale, comme l'arbre lui-même, et partant, aient le même diamètre.

La fig. 6 (Planche X) représente une moitié d'essieu comme on les construit généralement. Toutes les arêtes vives des manivelles sont abattues, et les deux bras sont un peu évasés vers le centre.

Une précaution à signaler pour ces pièces, c'est de faire le diamètre des portées de roues, supérieur à celui des parties environnantes, afin que quand on veut décaler ces dernières, soit par suite d'usure, soit par suite d'accident quelconque, on puisse chasser les clavettes sans difficulté, ce qui n'aurait pas lieu, si elles étaient appuyées contre une embase.

3° *Dimensions*. Il n'est pas de calculs applicables à la détermination des diamètres des différentes parties des essieux coudés; les chocs auxquels ils doivent résister ont fait augmenter successivement leurs dimensions depuis leur origine, et l'on est arrivé aujourd'hui à un point qui ne paraît pas destiné à être dépassé. Quant aux distances entre les différentes parties, nous dirons que les manivelles doivent être espacées assez pour que l'on puisse loger, entre les entretoises du milieu, les excentriques et leurs leviers; dans le dessin, nous avons fait la distance entre les axes du mouvement égale à la demi-largeur de l'enveloppe de la boîte à feu. Cette distance n'est que juste ce qu'il faut à l'intérieur, non-seulement pour le mouvement des excentriques, mais encore pour l'injection de la vapeur dans la cheminée; il n'y aurait donc pas de mal de l'augmenter un peu; il est vrai qu'alors il ne serait plus possible de placer la pompe où nous l'avons mise, grâce à ce rapprochement des axes; il est bon d'observer aussi que, pour l'écartement des cylindres, il faut avoir égard à la courbure de la tôle de chaque côté de la boîte à fumée, courbure qui pourrait nécessiter de rogner les brides si on les en rapprochait trop.

Il y a trois diamètres différents sur les essieux coudés: le diamètre des portées des roues; le diamètre des boutons de manivelles et tourillons d'entretoises; le diamètre des tourillons extrêmes ou des châssis.

Ils peuvent être les mêmes, quel que soit le diamètre du cylindre, pour une même largeur de voie, cela parce que

leur largeur est constante. Si nous les considérons ainsi, nous aurons :

	mèt.	mèt.	mèt.
Largeur des voies.	1.50	1.75	2.00
Diamètres des portées des roues. . .	0.15	0.17	0.19
Tourillons des entretoises et boutons.	0.13	0.15	0.17
Tourillons des châssis.	0.11	0.13	0.15

4° *Construction*. Il existe trois espèces d'essieux coudés :

1° Les essieux à manivelles rapportées ;

2° Les essieux à manivelles découpées ;

3° Les essieux à manivelles forgées.

Les premiers sont ceux qui s'exécutent le plus facilement; ils se composent de 9 pièces, savoir :

3 bouts d'arbre,

4 manivelles,

2 boutons.

Chacune de ces pièces se construit séparément par les procédés ordinaires de l'atelier; on assemble ensuite les manivelles avec les arbres, soit à prisonnier et clavette demi-ronde, soit à rivure à chaud du bout d'arbre dans un trou évasé extérieurement; cela fait, on pose à chaud les boutons que l'on assemble de cette dernière manière.

Jusqu'à présent, ces essieux ont présenté comme principal inconvénient de se détraquer facilement, d'exiger de plus grandes quantités de fer que les autres pour avoir la même résistance, et de ne pas coûter beaucoup moins dans les ateliers bien organisés.

Les seconds, ceux exclusivement employés aujourd'hui, se construisent de trois manières principales, qui sont :

1° Essieux à manivelles rapportées pleines par mises successives.

2° Essieux en deux parties soudées au milieu.

3° Essieux d'une seule pièce à manivelle rabattue.

1° Pour construire les essieux à manivelles rapportées par mises successives, on forge un arbre rond, du diamètre de l'essieu, ayant soin de réserver sur cet arbre, aux deux places des manivelles, des parties plates en saillies sur lesquelles on rapporte successivement, au blanc soudant, des couches de métal de 6 à 8 centimètres d'épaisseur, jusqu'à ce qu'on ait atteint la saillie nécessaire. Cela fait, on les met sur le tour qui finit la partie ronde, ainsi que les

plats extérieurs transversaux des manivelles; on rabote les plats longitudinaux et on trace le contour du vide intérieur à enlever. Ce vide, qui pourrait se découper tout entier à la machine à parer, s'exécute beaucoup plus promptement, si on adjoint à cette machine la machine à percer qui, garnissant tout le contour intérieur de la manivelle d'une série de petits trous aussi rapprochés que possible les uns des autres, ne laisse plus à enlever à la première que les portions de fer restées entre ces trous.

Les manivelles évidées, on procède au tournage des boutons. Cette opération s'exécute en rapportant extérieurement des axes parallèles à l'axe principal, à une distance de ce dernier égale au rayon de la manivelle; ces axes sont maintenus en place au moyen de plaques en fer, boulons et contre-poids qui équilibrent la charge de l'arbre principal et rendent régulier le mouvement sur le tour. Quelquefois on évite ce travail qui est assez difficile en ajustant les boutons au burin et à la lime, cela en les convertissant d'abord en un quarré parfait, ensuite en octogone régulier, ensuite un polygone régulier de seize côtés, puis trente-deux, etc., jusqu'à ce que le bouton soit rond. Un bon ouvrier, habitué à ce genre de travail, arrive assez exactement; autrement, on obtient un bouton incliné à l'axe et qui a pour effet de casser les bielles pendant la marche de la machine.

2° Pour construire les essieux en deux parties, soudées au milieu, on a une masse de fer composée de plusieurs barres et plaques de tôle, disposées de manière à représenter la même forme que la moitié de l'essieu. On met le tout au four à réchauffer, bien saupoudré de borax dans son intérieur, pour dissoudre l'oxide qui règne sur toutes les surfaces, et on bat, au gros marteau, à la chaleur blanche, de manière à ne plus former qu'un seul morceau. Cela répété sur l'autre moitié de l'essieu, on amorce les deux bouts qui correspondent au milieu de l'essieu, et on les soude ensemble. Le travail de l'ajustage s'exécute comme pour le précédent.

3° Pour construire les essieux à manivelle rebattue, on exécute absolument la même opération que ci-dessus, seulement avec une longueur double, en laissant pleine la partie comprise entre les deux manivelles. Cela fait on porte l'essieu à l'ajustage, où est découpé le plein qu'on a laissé à la forge entre les manivelles; puis on reporte ce dernier à

la forge; là, au moyen d'une chaude suante, on fait faire un quart de tour à l'une des manivelles, et on les place ainsi chacune dans leur position normale. Le travail de l'ajustage, qui suit cette opération, ne diffère pas des précédents.

Ce dernier système, qui a l'avantage de donner un essieu d'un seul morceau, présente comme principal inconvénient d'exiger une mise de 1600 kilog. de fer au four pour en retirer 400; ensuite le quart de révolution que l'essieu fait en son milieu diminue toujours sa tenacité, en sorte que des trois systèmes que nous venons d'énumérer, pour construire les essieux à manivelles découpées, le second nous semble préférable; c'est aussi celui qui est exclusivement employé en Angleterre.

La troisième espèce d'essieux, ceux à manivelles forgées, faciles à exécuter lorsque les diamètres ne dépassent pas six centimètres, sont d'une difficulté si grande pour les diamètres ordinaires des essieux de locomotives, qu'on y a complètement renoncé, quant à présent.

Pour construire un essieu de ce genre, on prend une barre de fer suffisamment longue pour n'être pas obligé de rapporter de fer, sans quoi il serait inutile d'employer cette méthode, et on courbe à chaud les manivelles suivant la forme que doit affecter l'essieu, en partant du milieu. On obtient ainsi un essieu d'un seul morceau, dont le nerf, n'étant interrompu en aucun point, est d'une résistance à toute épreuve, si on a eu soin de choisir du fer de bonne qualité. Jamais un essieu de ce genre ne se casse : il peut se courber par un choc, mais alors rien n'est plus facile que de le redresser. Il serait à désirer que l'on parvînt à se familiariser avec ce mode de construction des essieux coudés, car il permettrait de diminuer d'au moins un quart le diamètre que l'on donne ordinairement.

5° *Prix de revient*. Avec les dimensions que nous avons données plus haut pour les essieux, abstraction faite des déchets qui sont considérables dans l'exécution de ces pièces, les poids moyens sont :

	m.	kil.
Largeur de voie.	1.50	400
id.	1.75	500
id.	2.	600

La main-d'œuvre se répartit ainsi :

	Largeur de voie.		
	m. 1.50	m. 1.75	m. 2
	fr.	fr.	fr.
Forge, système moyen.	150	200	250
Ajustage, évidage des manivelles.	100	125	150
Tournage total.	80	100	120
Ajustage.	100	125	150
	430	550	670
Matière première. . .	200	250	300
Totaux. . . .	630	800	970
d'où, prix de revient :	fr. 1100	fr. 1400	fr. 1700
prix de vente :	fr. 1260	fr. 1600	fr. 1940
Le kilogramme. . . .	3.15	3.20	3.25

Pour les essieux droits des petites roues, les poids moyens sont :

Pour un essieu :

	mèt.	kil.
Largeur de voie.	1.50	100
id.	1.75	125
id.	2.	150

La main-d'œuvre se répartit ainsi :

	Largeur de voie.		
	m. 1.50	m. 1.75	m. 2
	fr.	fr.	fr.
Forge.	20	25	30
Ajustage tour.	20	25	30
Calage.	5	6	7
	45	56	67
Matière première. . .	50	62.50	75
Totaux. . . .	95	118.50	142

d'où, prix de revient :

	fr.	fr.	fr.
	166	210	250
prix de vente :			
	fr.	fr.	fr.
	190	237	284
Le kilogramme....	1.90	1.90	1.90
Enfin les 3 essieux réunis :			
	fr.	fr.	fr.
	1640	2074	2508

2° *Entretoises, guides.*

1° *Matériaux*. Les entretoises sont en fer, avec coussinets en bronze, dans les échancrures ; les guides sont en acier avec fer d'angle, cuivre d'angle ou fonte servant à les assembler avec les entretoises, au moyen de boulons.

2° *Formes*. 1° Entretoises. Il existe deux espèces principales d'entretoises : la première consiste en deux plaques de tôle découpées à la machine à parer, et assemblées à boulons avec rondelles intermédiaires qui en règlent l'écartement; la seconde consiste en une seule barre de fer forgé, plate, avec un renflement autour de l'échancrure. Quelle que soit celle de ces deux espèces que l'on adopte, les frais de construction et la difficulté d'exécution peuvent être évalués les mêmes dans les deux cas : quant à la solidité, la seconde nous paraît préférable, parce que, quelque rigides que soient les assemblages, il y a toujours plus de chances de rupture dans une pièce composée de plusieurs parties que dans une pièce d'un seul morceau. Aussi est-ce pour cette raison que nous avons adopté la seconde que l'on peut voir représentée fig. 7 et 8 (Planche X).

Dans les deux cas, on a soin de relier les extrémités des pattes de l'échancrure, tantôt par un collier, comme nous l'avons figuré, tantôt par un boulon ou toute autre pièce. Cette liaison a pour but de maintenir constant l'écartement entre les deux faces intérieures, écartement que tend sans cesse à agrandir la pression rectiligne alternative de la tige du piston sur l'essieu coudé, en abaissant la partie supérieure. Quelques constructeurs, au lieu de placer le corps de l'entretoise dans le milieu de l'échancrure, le placent en haut et le font descendre ensuite à l'endroit des guides pour soutenir ces derniers (fig. 1, Pl. II). Cette disposition nous

paraît fort bonne et même susceptible de rendre inutile la liaison inférieure des pattes auxquelles on donnerait alors des dimensions suffisantes pour résister à la pression du piston. Il est vrai que la liaison inférieure est destinée non-seulement à renforcer les pattes, mais encore à empêcher l'essieu de sortir des échancrures, dans le cas où une violente secousse soulèverait par trop la machine; mais pour obvier à cela, on a encore les liaisons des portées des coussinets, dans les châssis, dont la force est assez grande pour maintenir à elle seule l'essieu en place. Si nous insistons sur ce point, c'est que dans les ateliers de réparations on soulève souvent les machines, et ces pièces d'assemblage des pattes des échancrures, non-seulement sont fort incommodes à enlever, mais encore s'égarent facilement.

Il existe aussi deux espèces de coussinets : les coussinets verticaux et les coussinets horizontaux. Pour savoir au juste lesquels sont préférables, il est bon de se rendre compte de leur mode d'action dans les machines.

Le cylindre à vapeur étant horizontal, la pression de son piston sur l'essieu coudé est horizontale; l'usure maxima des coussinets a lieu par conséquent aux points de contact des tangentes verticales, d'où suit que le serrage doit se faire horizontalement.

C'est en partant de ce principe que la plupart des constructeurs font leurs coussinets verticaux serrés au moyen de coins en fer placés de chaque côté et munis d'un bout rond taraudé, au moyen duquel on règle leur position exacte en embrassant entre deux écrous une partie fixe de l'échancrure. Mais les coussinets ne sont pas seulement destinés à maintenir constante la distance de l'essieu coudé aux cylindres, tout en lui permettant d'osciller verticalement; ils doivent encore concourir, avec les coussinets du châssis, à empêcher toute espèce de mouvement transversal; c'est pour cela qu'on les munit de joues qui embrassent d'un côté les coins, qui sont eux-mêmes de l'autre côté ou munis de joues embrassant les échancrures ou embrassées par des joues rapportées à ces dernières. Il suit de là que les coussinets doivent résister à la pression transversale qu'opère sur eux l'essieu en se portant tantôt à droite, tantôt à gauche, suivant les diverses influences extérieures auxquelles la machine est exposée pendant la marche. Pour cela on les fait emboîter l'un dans l'autre en dessous et en dessus de l'essieu,

comme M. Edward l'a exécuté dans les machines du Creusot, où on les assemble à boulons et écrous, comme M. Jackson et autres. Quelque ingénieux que soient ces deux moyens, ils n'offrent jamais la même rigidité qu'un coussinet horizontal, dont les joues portent sur les échancrures mêmes. Aussi pensons-nous que tant que les coussinets des châssis ne seront pas capables de maintenir à eux seuls l'essieu en place, on ne devra pas avoir égard au mode d'usure des coussinets des entretoises et mettre ces derniers horizontaux. C'est sans doute d'après ces considérations que MM. Sharp et Roberts emploient ce dernier mode de construction des coussinets. Un seul constructeur, M. Bury, donne assez de rigidité à ses châssis pour maintenir à eux seuls l'essieu en place : pour cela, il les fait en fer plat, le grand côté horizontal, et les met en dedans des roues ; par ce moyen, il supprime les entretoises et maintient les guides sur le stuffing-box du couvercle du cylindre, et une lunette rapportée à la chaudière. Cette disposition du châssis a l'inconvénient, pour une même largeur de voie, de diminuer la largeur de la chaudière et, partant, la surface de chauffe ; c'est pourquoi nous ne pensons pas qu'elle doive être admise malgré sa solidité.

La figure 7 (Pl. X) représente un assemblage de coussinets d'entretoises à joints horizontaux ; tels que nous les avons figurés, ils diffèrent de ceux de MM. Sharp et Roberts en ce que, chez ces messieurs, les joues sont portées par l'échancrure ; nous pensons que notre disposition est préférable, en ce qu'elle est plus simple à exécuter et aussi solide ; du reste, les joues sur les coussinets existent dans tous les cas où ces derniers sont verticaux : ce n'est donc point une nouveauté que nous avons voulu introduire. Il est vrai que dans ce cas la largeur de l'entretoise restant constante, les joues du coussinet sont plus épaisses que celles que l'on donnerait à cette dernière, d'où résulte que le coussinet est plus large ; nous ne pensons pas que ce soit un inconvénient, surtout s'il y a de la place pour le loger.

2° Guides. Les guides sont de deux espèces :

Les guides simples ;
Les guides doubles.

Les guides simples consistent en un prolongement de la tige du piston, de l'autre côté de la tête, allant glisser dans

un support-guide fixé à une partie invariable de la machine: la bielle, dans ce cas, est à fourchette, ce qui présente l'inconvénient que nous avons signalé déjà, c'est-à-dire de l'exposer souvent à la rupture, par suite de mouvement transversal qu'elle a la faculté de prendre. Aussi cette disposition, employée dans les petites machines horizontales de terre, est-elle complètement rejetée dans les locomotives.

Le guide double consiste en deux appareils égaux placés symétriquement de chaque côté de la tête de la tige et généralement soutenus par les entretoises. L'extrémité de l'axe transversal de la tête est alors munie de deux glissoirs tantôt embrassant les guides, tantôt embrassée par eux. Ce dernier cas est préférable, parce que ces parties sont exposées à la poussière qui se dépose beaucoup plus facilement sur des faces extérieures que sur des faces intérieures. Les seules machines possédant des guides à glissoirs extérieurs sont celles de M. Bury; les guides en acier sont alors à section quarrée, ayant la diagonale verticale; les glissoirs sont aussi en acier et se composent de deux plaques recourbées à angle droit, et venant s'assembler sur l'extrémité de l'axe transversal.

Les guides à glissoirs intérieurs (fig. 7 et 8, Planche X) se composent simplement de deux plaques d'acier entre lesquelles glisse le glissoir d'un seul morceau et aussi en acier; ces plaques sont maintenues après l'entretoise au moyen de barres de fer d'angle assemblées de part et d'autre par des boulons; en ayant soin de faire ovales les trous des boulons sur les entretoises, on règle parfaitement la position des guides et, comme on le voit, d'une manière fort simple. Dans les machines de MM. Sharp et Roberts, auxquels nous empruntons cette disposition, parce que nous la considérons comme la meilleure et la plus simple à exécuter, le fer d'angle est remplacé par du cuivre ayant la même forme. Nous présumons que cette substitution n'a d'autre but que de rendre l'appareil plus propre ou moins susceptible de se laisser attaquer par les huiles rances.

Dans les machines du Creusot, ce fer d'angle est remplacé par des pièces de fonte rabotées, et qui, se recourbant en dessus et en dessous des entretoises, sont réglées de position au moyen de petites vis taraudées dans ces dernières. Cette disposition, remarquable comme toutes celles de ces dernières machines, ne nous paraît pas néanmoins indispensable.

Dans les machines de MM. Stephenson, Taylor, Jackson et autres, les guides sont seulement soutenus à leurs extrémités par des boulons portant dans les entretoises; pour les empêcher de fléchir au milieu, on leur donne une épaisseur de 2 à 2, 5 centimètres allant se réduire à 1 aux extrémités en suivant une décroissance parabolique.

3° *Dimension*. Nous avons donné, dans la seconde partie, la longueur des entretoises et guides; les dimensions qui nous occuperont ici seront seulement les épaisseurs et les argeurs.

Si nous nous en rapportons à ce qui existe généralement, nous pourrons les adopter ainsi qu'il suit :

	Largeur de voie.		
	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2.00
Epaisseurs des :			
Plats des entretoises	0.02	0.025	0.03
Renflements des échancrures.	0.04	0.05	0.06
Coussinets, y compris les joues.	0.06	0.08	0.10
Plaques des guides.	0.01	0.015	0.02
Glissoirs.	0.05	0.06	0.07
Largeurs des :			
Entretoises.	0.10	0.12	0.14
Id. aux guides.	0.20	0.24	0.28
Guides.	0.06	0.07	0.08
Glissoirs, en long.	0.15	0.18	0.21
Id. en travers et intérieurement.	0.05	0.06	0,07
Rebord en sus.	0.008	0.01	0.012

Coussinets quarrés des échancrures 1.6 du diamètre du tourillon.

Diamètres des :			
Boulons d'assemblage, N°. .	18	21	25
Boulons des coussinets, N°. .	15	18	21

Construction. 1° Entretoises. On commence par faire les échancrures au moyen de barres de fer quarrées que l'on courbe deux fois et que l'on aplatit ensuite suivant le dessin, en laissant une amorce de chaque côté pour souder avec le corps; ensuite on fait la partie du corps qui se trouve du

côté de la boîte à feu avec une barre de fer plat coupée et soudée à l'amorce. L'autre côté, celui qui porte les guides, est plus difficile à exécuter, parce qu'on n'a pas de fer d'une largeur suffisante pour faire la partie des guides; on est obligé de prendre du fer plat d'un échantillon beaucoup plus fort et que l'on aplatit au martinet seulement sur la longueur correspondant à la grande largeur; on y soude ensuite deux bouts comme le premier et on soude celui du milieu avec l'échancrure, ce qui fait en tout 4 soudures.

A l'ajustage, on rabote les faces planes des échancrures ainsi que les faces sur lesquelles portent les fers d'angle des guides; on coupe de longueur, puis on dresse les petites faces au rabot et à la machine à parer.

Les coussinets sont rabotés sur toutes les faces et alésés intérieurement; ils sont en outre percés des trous des boulons; les guides, en acier, sont rabotés sur les quatre faces; les fers d'angle sur les deux faces extérieures; les glissoirs sur les six faces. Les ajusteurs finisseurs n'ont plus qu'à polir et mettre les boulons en place après avoir fait percer leurs trous.

5° *Prix de revient.* Nous pouvons établir ainsi les poids de l'entretoise, ses coussinets, son guide et son glissoir, pour les trois largeurs de voie :

	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2.0
	kil.	kil.	kil.
Fer.	100	150	200
Cuivre.	15	25	35
Acier.	10	15	20

En mettant le prix de revient de l'acier brut à 2 fr. 50 c. le kilogramme, nous aurons :

	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2.0
	fr.	fr.	fr.
Fer.	50	75	100
Cuivre.	45	75	105
Acier.	25	37.50	50
Pour 1 entretoise.	120	187.50	255
Pour 4 *id.*	480	750.00	1020

Main-d'œuvre pour 1 entretoise :

	fr.	fr.	fr.
Forge.	20	30	40
Fonderie.	5	7.5	10
Rabot.	10	15	20
Machine à parer.	20	30	40
Foret.	3	4	5
Ajustage.	20	30	40
Pour 1 entretoise.	78	116.5	155
Pour 4 *id.*	312	466.0	620

Sommes :

	fr.	fr.	fr.
Matière première.	480	750	1020
Main-d'œuvre.	312	466	620
TOTAL. . . .	792	1216	1640
Prix de revient.	1390	2120	2870
Prix de vente.	1580	2560	3280

3° *Bielles, têtes de tiges et mouvement des pompes.*

1° *Matériaux.* Les bielles sont en fer avec coussinets en cuivre ; les têtes de tige qui, comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent, peuvent être en fonte, se font aussi en fer pour éviter toute espèce de chances de rupture ; le mouvement des pompes est tout en fer, sauf le piston que l'on fait quelquefois en cuivre, mais sans nécessité.

2° *Formes.* Les bielles (fig. 10, Planche X) sont exposées à la pression et à la traction ; théoriquement leur diamètre au corps qui est rond devrait être le même que celui des tiges de pistons, mais il faut observer que le mouvement vertical qu'elles prennent, pour suivre le bouton de la manivelle, tend à les faire fouetter, et, dans certain cas, les courber. Pour éviter cela on les renfle au milieu d'une légère quantité.

Les têtes sont des assemblages de chapes dont nous avons parlé dans le chapitre précédent : seulement l'une d'entre elles n'est pas dans la série, par la raison que, embrassant un diamètre double de celui de l'autre tête, sans avoir un plus grand effort à vaincre, il n'est pas nécessaire que la section de la chape soit plus considérable, non plus que les épaisseurs

des coussinets : on a soin seulement de doubler l'épaisseur des joues, parce que ces parties travaillent plus de ce côté de l'essieu que du côté de la tête, à cause des oscillations transversales que ce dernier fait à chaque instant.

La tête de tige la plus convenable est celle représentée fig. 8 (Planche X), munie de deux chapes en fer qui tiennent l'axe immobile.

Le mouvement des pompes s'effectue de plusieurs manières :

Dans les machines horizontales fixes, on fait venir le corps de pompe à la fonte avec le cylindre, soit en dessous, soit de côté, et le piston est mû par un levier rapporté sur la tige ou la douille, ou par l'axe même auquel il est assemblé. Cette disposition est applicable dans les locomotives; seulement, pour la pompe en dessous, il faut monter, tant que l'on peut, le centre de la petite roue, afin que son essieu, dans l'oscillation de la machine, ne frappe pas sur le piston. De côté, la chose est à peu près impossible à cause des entretoises; la position qui serait peut-être la plus convenable serait à 45° de chaque côté, en dehors dans le haut, mais là il faut éviter de rencontrer l'arbre du tiroir. Comme on le voit, il n'est pas facile de fixer la pompe après le cylindre, aussi l'en sépare-t-on généralement et la met-on entre le guide et l'essieu coudé. Là se présente une autre difficulté : la distance entre l'extrémité de la course de l'axe de la tige et l'extrémité de la course du bouton de la manivelle est égale à 1,5 course ; il semblerait, au premier abord, qu'on peut y loger la pompe qui n'a besoin que d'une course pour son mouvement; mais il n'en est pas ainsi, parce que l'espace de la demi-course restante est absorbé par l'épaisseur de l'essieu et celle de l'axe de la tige ; et comme il faut une place aussi pour le stuffing-box de la pompe et son fond, on ne peut placer cette dernière entre l'essieu coudé et l'axe de la tige qu'en dessus ou en dessous du plan du mouvement, disposition que l'on adopte généralement. Lorsque les cylindres ne sont pas très-éloignés l'un de l'autre, comme dans notre dessin, la distance entre les entretoises extérieures et les roues est assez grande pour loger la pompe en dehors dans le plan du mouvement ; c'est cette disposition que nous avons représentée fig. 8 (Pl. X). Dans ce cas, ce qu'il y a de mieux à faire pour mouvoir la pompe, c'est de percer l'entretoise d'une rainure égale à la course, ce qui n'a pas d'inconvénient parce qu'elle est très-

large à cet endroit, et de prolonger l'axe de la tête de la tige jusqu'à la rencontre du piston de la pompe. Alors il faut faire les glissoirs de plusieurs morceaux avec vide intérieur, parce que l'axe est aplati pour résister, et muni d'une tête pour l'assemblage du piston de la pompe, comme nous l'avons figuré; on peut sortir tout le système hors des guides sans être obligé de démonter ces derniers.

3° *Dimensions.* Les seules que nous ayons à donner ici sont les différents diamètres de la bielle, la tête de la tige étant déterminée d'après le diamètre de la tige elle-même et celui de l'axe transversal ; nous aurons :

Diamètres des :	Largeur de voie.		
	mèt.	mèt.	mèt.
	1.50	1.75	2.00
Grosse tête de la bielle. . .	0.13	0.15	0.17
Petite tête.	0.065	0.075	0.085
Corps aux extrémités. . . .	0.05	0-055	0.060
Corps au milieu.	0.06	0.066	0.072
Axe dans les chapes du T. .	0.06	0.07	0.08
Axe dans les glissoirs. . . .	0.04	0.05	0.06

4° *Construction.* 1° Bielles. On commence à la forge par faire les deux têtes qui s'assemblent avec les chapes, cela sans autre difficulté que celle résultant de leur dimension ; quelquefois on y fait d'avance le trou des clavettes, mais cela n'est pas bon, parce qu'on n'est pas sûr de le mettre à sa place exacte. On forge ensuite le corps et on soude de longueur ces trois pièces. Les deux chapes se construisent par la méthode indiquée plus haut.

A l'ajustage, on tourne d'abord le corps de la bielle, ensuite on rabote les plats en ayant soin, pour ceux qui entrent dans les chapes, de déterminer leur largeur exacte, d'après ces dernières qui sont censées faites d'avance. Ces deux opérations terminées, on coupe de longueur à la machine à parer, trace la place des mortaises des clavettes, et effectue ces dernières aux machines à percer et parer, comme à l'ordinaire; ensuite on ajuste et pose les chapes.

2° Têtes des tiges. Les deux chapes qui garnissent la tête se construisent sans difficulté par la méthode ordinaire. La douille se forge pleine en deux morceaux soudés à l'endroit où commence le rond de la douille ; l'un des morceaux

est rond, l'autre quarré, dans lequel on enlève le vide intérieur à la tranche.

A l'ajustage, on tourne la partie ronde, on perce le creux de la tige, on rabote les faces planes, toujours ayant les chapes préparées d'avance; on perce les mortaises, assemble les chapes, et termine par l'alésage du trou dans la fourchette.

Quant au mouvement de la pompe, il est toujours très-simple à construire, quelle que soit la place que l'on assigne à cette dernière.

5° *Prix de revient.* Nous établirons ainsi les poids de ces pièces :

	Largeur de voie.		
	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2.00
	kil.	kil.	kil.
Bielle, corps.	40	50	60
Grande chape.	à part, déjà évaluée.		
Petite chape.	à part,	*id.*	
Tête de la tige.	à part,	*id.*	
Axe.	13	25	35
Piston de la pompe.	15	25	35
TOTAL.	70	100	130
	fr.	fr.	fr.
Matière première.	35	50	65
Main-d'œuvre :			
Bielle, forge.	15	20	25
Ajustage.	40	60	80
Axe, forge.	5	6	7
Ajustage.	10	15	20
Piston de la pompe, forge.	5	6	7
Ajustage.	10	15	20
Une grande chape.	55	74	100
Une petite *id.*	27.80	37.40	49,50
Une tête de tige.	80	100	120
TOTAL.	283	384	494
Et :			
Pour 2 appareils.	566	768	988

D'où :

	fr.	fr.	fr.
Prix de revient.	990	1340	1730
Prix de vente.	1130	1540	1985

4° *Mouvement des tiroirs.*

Le mouvement des tiroirs comprend :

Les excentriques,
Les cercles de *id.*
Les barres et crochets de *id.*
Les leviers de *id.*
L'arbre du tiroir.
Les supports de l'arbre du tiroir.
Le levier de *id.*
La douille de *id.*
La manette des excentriques.

1° *Matériaux.* Les excentriques sont toujours en fonte; les cercles ou bagues d'excentriques se font indistinctement en cuivre jaune ou en fer forgé ; bien que le premier métal soit le plus généralement employé, le deuxième nous semble préférable, en ce qu'il est bien moins sujet aux chances de ruptures qui résultent d'une grande vitesse, et est moins susceptible de s'user par le frottement contre la fonte. Les barres et crochets d'excentriques, d'une seule pièce, sont toujours en fer forgé, comme résistant à la traction et la pression sous un petit volume.

Les leviers d'excentriques, arbres, leviers et douilles des tiroirs sont en fer forgé; les supports sont en fonte ou cuivre, à volonté, avec coussinets rapportés.

La manette des excentriques consiste, pour crochet double, en un arbre communiquant aux barres d'excentriques par deux leviers; cet arbre est porté sur deux supports fixés soit aux châssis, soit à la chaudière, et muni d'un côté d'un contre-poids, et de l'autre, d'un levier correspondant, par une barre, à la manette fixée sur la plate-forme du chauffeur; tout cela constitue un appareil en fer forgé, sauf les supports divers et le contre-poids qui sont en fonte.

2° *Formes.* Dans la fig. 9 (Pl. X), nous avons supposé l'excentrique à crochet double, ce qui fait un excentrique seulement par cylindre. Ce système, assez nouveau et adopté dans plusieurs machines, n'a pas eu un succès complet, à cause de la position de l'excentrique et de la longueur de sa

barre qui sont assez difficiles à déterminer; aussi est-il réputé comme mauvais par ceux qui l'emploient, parce que n'ayant pas toujours été bien monté, il ne donne pas toujours de bons résultats.

Dans le cas de crochets doubles, les excentriques se placent de préférence dans le milieu de l'essieu coudé, afin de laisser tout l'extérieur aux pompes. Ils sont alors de deux parties rapportées sur l'arbre, et assemblées à boulons à têtes noyées ou clavettes et écrous. Cet assemblage est loin d'être aussi solide que si l'excentrique était d'un seul morceau; mais là il n'y a pas moyen de faire autrement. L'arbre est muni d'un prisonnier à section rectangulaire, entrant quarrément dans son intérieur et dans la mortaise de l'excentrique.

Le cercle de l'excentrique (fig. 12, Pl. XI) se compose de deux parties demi-circulaires munies chacune de deux pattes qui s'assemblent à boulons et écrous, plus une saillie plate sur l'une des deux parties seulement avec laquelle s'assemble la barre d'excentrique à boulons et chevilles dont les trous sont percés sur place, afin de conserver l'écartement rigoureux. Les chevilles en fer, dont nous n'avons pas encore parlé, sont des pièces précieuses dans les machines, pour fixer d'une manière rigoureuse la position d'autres pièces sujettes à être fréquemment démontées. Autant on prodigue les chevilles dans les machines outils, autant on les emploie peu dans les moteurs; c'est un tort, car elles y rendraient de grands services, surtout dans les locomotives.

Il faut avoir soin de ne pas mettre les pattes du cercle d'excentrique verticales, parce que le milieu supérieur est destiné à loger une boîte à huile.

La barre et le crochet d'excentrique, d'un seul morceau, consistent en une pièce de fer plate, à section plus forte du côté de l'excentrique que de celui du levier, terminé par un double V à sommets opposés, destiné à prendre tantôt dans le bouton inférieur, tantôt dans le bouton supérieur du levier d'excentrique. Le tracé de ce double V exige les considérations suivantes :

1° Le milieu du crochet, étant entre les deux boutons, il faut que l'excentrique puisse parcourir une course complète sans forcer sur les deux boutons à la fois, ce qui casserait nécessairement une des pièces en contact.

2° Le milieu du crochet étant toujours dans cette position, il faut que le mouvement de l'excentrique ramène le tiroir au milieu de sa course, c'est-à-dire les boutons au milieu de la leur, ce qui a lieu si les extrémités des courses des points de contact sont distantes d'une course augmentée de l'épaisseur du bouton.

3° L'un des V du crochet d'excentrique, prenant dans l'un des boutons, il faut que les pattes de l'autre soient assez espacées pour qu'en changeant subitement la position du crochet, et le dirigeant vers l'autre bouton, ce dernier soit embrassé dans l'intérieur des pattes et ramené vers le centre, dans quelque position relative qu'il ait été au moment du changement.

Pour arriver à ces divers résultats, on fait l'épure représentée fig. 9 (Pl. X). On dessine les trois positions principales des boutons : deux extrêmes et une intermédiaire. Dans l'épure, figurent trois boutons à des distances différentes de l'axe de rotation du levier. Cela tient à ce qu'il faut satisfaire à une quatrième condition qui dépend en même temps du crochet et de son levier; cette condition est que les pattes doivent n'être pas assez longues pour aller rencontrer la chaudière quand elles engrènent dans le bouton du haut. Pour cela, il suffit de remarquer que la longueur des pattes est égale à environ la distance entre les deux boutons, ce qui fait que, le crochet engrenant dans le bouton du haut, la distance entre l'axe de rotation et le dessous de la chaudière doit être égale au minimum à :

	0.5	distance des boutons.
+	1.0	*id.*
TOTAL. . . .	1.5	fois cette distance.

Il suit de là que, connaissant la position de l'axe, on détermine la distance entre les boutons, en divisant la distance entre ce dernier et la chaudière par 1.5, ce qui donne : distance entre les boutons $^1/_{1.5} = 0.666$ de la distance entre l'axe et la chaudière. Ayant la place des boutons, on trace, comme nous avons dit, leurs trois positions, et on considère l'excentrique comme au milieu de sa course, ni en dessus ni en dessous de l'essieu, mais le milieu de la barre passant par le centre de l'essieu coudé; alors on donne aux deux centres de crochet la distance qui est convenable pour

que le fer résiste aux divers efforts auxquels il est soumis, et on mène de ces centres des tangentes aux boutons considérés dans leurs positions extrêmes. Cette disposition comprend tout, car si, le crochet embrayant dans l'un des boutons, ces derniers sont aux extrémités de leur course, la ligne de la patte, étant droite, a continué à s'éloigner de la verticale proportionnellement à la distance ; il en résulte que, la distance étant double, la largeur entre les extrémités des pattes est double, et par conséquent à même de prendre l'autre bouton.

Le levier d'excentrique se construit d'après les règles que nous avons indiquées dans le chapitre précédent pour ce genre de pièces, à l'exception près que les plats sont reportés en dehors, de manière à former une seule ligne droite, et que les boutons sont renforcés de diamètre, parce qu'ils sont sujets à l'usure. Ces derniers s'assemblent avec le levier soit à écrou par derrière dans une partie taraudée, terminant une entrée conique, soit à rivure à chaud, qui est de beaucoup préférable. Pour empêcher le crochet de sortir de la ligne de ses boutons, on termine ces derniers par une plaque assemblée à vis avec chacun d'eux, et permettant au crochet le mouvement vertical seulement.

Les supports de l'arbre sont fixés sur les entretoises, l'arbre est cylindrique avec tourillons enlevés au tour à l'endroit des coussinets des supports.

Le levier du tiroir transmet généralement le mouvement à ce dernier par un taquet en forme de dent d'engrenage porté dans une chape faisant corps avec la douille de la tige, et taillée dans les faces en contact avec la dent du levier, comme les dents d'une crémaillère. Cette chape fermée pourrait bien être d'une seule pièce avec la tige du tiroir, mais alors il ne serait pas aussi commode de régler la position de ce dernier au moyen de sa tige, comme cela se pratique ordinairement; la tige coupée plus longue qu'elle ne doit être réellement, est taraudée à son extrémité pour aller s'assembler avec le cadre du tiroir. Placée ainsi, et fixée à clavette dans sa douille, on fait faire un tour à l'excentrique pour voir comment se fait le mouvement du tiroir; s'il est plus considérable d'un côté des lumières que de l'autre, on raccourcit la tige, et continue le taraudage pour la faire entrer à fond, le tout jusqu'à temps que le tiroir ait un mouvement bien égal de chaque côté des lu-

mières. Pour enlever aussi souvent la tige, il faudrait, sans douille rapportée, démonter chaque fois les supports de l'arbre.

Quant au mouvement des barres pour porter les crochets tantôt dans le bouton du haut, tantôt dans le bouton du bas, il consiste à suspendre ces derniers à l'extrémité de un à deux leviers par des tringles en fer d'une longueur égale à une fois $1/_2$ la course de l'excentrique, ces leviers étant portés à leur centre sur un arbre en fer maintenu en place sur les supports attachés, soit à la chaudière, soit au châssis; à une des extrémités de cet arbre est un contre-poids, dont le but est de maintenir les crochets appuyés contre le bouton avec lequel ils engrènent; c'est à quoi on ne peut parvenir en maintenant l'arbre fixe de position, comme on le fait généralement, parce que la barre d'excentrique, outre son mouvement horizontal, a un mouvement vertical provenant de la rotation de l'excentrique et du bouton.

L'autre extrémité de l'arbre est munie d'un levier dont la position au milieu est verticale, correspondant avec une manette placée sur la plate-forme du chauffeur par une tringle à deux fourchettes extrêmes. La manette a sa poignée distante du centre de rotation d'une largeur égale à 3 fois celle de l'assemblage de la fourchette, afin que le travail pour le changement de position des crochets soit moins dur.

3° *Dimensions*. On peut établir ainsi les dimensions des différentes parties qui composent le mouvement du tiroir :

(*Voir le Tableau suivant, page* 310.)

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	DIAMÈTRES DES PISTONS.							
	0.m25	0.m30	0.m35	0.m40	0.m45	0.m50	0.m55	0.m60
Excentriques.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Epaisseur des fontes..	0.02	0.02	0.025	0.025	0.030	0.030	0.035	0.035
Largeur extérieure.	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08
Cercles.								
Epaisseur { en fer..	0.01	0.01	0.012	0.012	0.015	0.015	0.018	0.018
Epaisseur { en cuivre.	0.012	0.012	0.015	0.015	0.018	0 018	0.021	0.021
Diamètre des boulons.	n° 18	18	21	21	25	25	30	30
Largeurs.	0.035	0.035	0.04	0 04	0.05	0.05	0.06	0.06
Section des barres.								
A l'excentrique, { longueur.	0.06	0.065	0.07	0.075	0.80	0.085	0.09	0.095
A l'excentrique, { largeur.	0.012	0.012	0.015	0.015	0.018	0.018	0 021	0.021
Au crochet, { longueur.	0.04	0.045	0.05	0.055	0.06	0.065	0.07	0.075
Au crochet, { largeur.	0.010	0.01	0.012	0.012	0.015	0.015	0 018	0.018
Boulons.								
Diamètres.	0.03	0.03	0.035	0.035	0.04	0.04	0.045	0.045
Longueur.	0.036	0.036	0.042	0.042	0.048	0.048	0.054	0.054
Arbres.								
Diamètres, { portées..	0.045	0.045	0.05	0.05	0.055	0.055	0.06	0.06
Diamètres, { tourillons.	0.04	0,04	0.045	0.045	0.05	0.05	0.055	0.055

4° *Construction.* 1° Excentriques. Comme pièces de fonte elles exigent un modèle. Coulées à la fonderie, par les procédés ordinaires, pleines dans les parties qui sont destinées à être ajustées, savoir : le logement des cercles et celui des boulons d'assemblage des deux derniers cercles de chaque côté de l'arbre, elles passent à l'ajustage, où la première opération qu'elles subissent est le rabotage des faces planes de contact des deux parties qui embrassent le moyeu. Cela fait, on perce les trous des boulons d'assemblage, pose ces derniers et tourne l'extérieur en totalité, ayant soin de ménager des rebords pour maintenir le cercle en place. Puis on alèse l'intérieur en donnant aux centres une distance égale à la moitié de leur course, et on fait à la machine à parer la mortaise du prisonnier.

2° Cercles. Quel que soit le métal adopté, le travail de de la fonderie ou de la forge étant exécuté, celui de l'ajustage consiste à assembler les deux portions du cercle par deux boulons dans des trous percés à cet effet, en leur laissant un certain jeu pour le serrage, puis à tourner l'intérieur ainsi que les deux faces en contact avec les rebords de l'excentrique. Cela fait, on ajuste et pare.

3° Barres et crochets d'excentrique. On forge chacune des parties à part et on ne les soude que quand elles sont terminées; la barre se fait avec une pièce de fer plat, le crochet avec fer plat aussi aminci et recourbé, puis soudé au milieu avec amorce réservée du côté où se trouvera la barre. A l'ajustage, la barre est simplement dressée à la lime, mais le crochet est ajusté complètement; pour cela, avant de le souder à la barre on le porte à la machine à raboter qui lui donne son épaisseur; ensuite on soude, puis on perce les trous centraux dans lesquels doivent porter les boutons, et on ajuste le reste au burin et à la lime ou à la machine à parer.

4° Leviers. Leur construction est analogue à celle des leviers ordinaires.

5° Arbres, supports et manettes, comme toutes les pièces analogues générales.

5° *Prix de revient.*

Les frais de matières premières et de main-d'œuvre différant fort peu pour une même largeur de voie, nous

établissons ainsi les poids et la main-d'œuvre pour les trois largeurs de voie considérées, quel que soit le diamètre des cylindres :

1° *Matières premières.*

Poids pour l'appareil complet.

	Largeur de la voie.		
	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2
	kil.	kil.	kil.
1 Excentrique en fonte.	25	30	35
1 Cercle en fer.	10	15	20
1 Barre et crochet en fer.	30	40	50
1 Levier d'excentrique, fer. . . .	8	10	12
1 Arbre du tiroir, fer.	10	12	14
1 Levier du tiroir, fer.	5	6	7
1 Douille *id.*, fer.	1	1.5	2
1/2 Arbre de manette, fer.	12	15	18
1/2 Contre-poids, fonte.	15	20	25
1/2 Levier du contre-poids, fer. .	8	10	12
1 Levier et tringle du milieu. . .	10	15	20
1/2 Levier extrême.	4	6	8
1/2 Tirant de la manette.	10	15	20
1/2 Manette.	10	15	20
3 Supports.	30	40	50
Totaux { fonte.	60	80	100
Totaux { fer.	130	170	210

En argent :

	fr.	fr.	fr.
Matière première { fonte.	15	20	25
Matière première { fer.	65	85	105
Total. . . .	80	105	130

2° *Main-d'œuvre.*

1° *Fonderie.*

	fr.	fr.	fr.
Excentrique.	2.50	3.0	3.50
Contre-poids.	1	1.25	1.50
2° *Forge.*			
Cercle.	10	16	22
Barre et crochet.	15	20	25
Levier d'excentrique.	6	7	8
Arbre du tiroir.	3	4	5
Levier du tiroir.	5	6	7
Douille.	5	6	7
½ Appareil de la manette.	20	25	30
3° *Ajustage.*			
Excentrique.	10	12.5	15
Contre-poids.	1	1.5	2
Cercles.	30	40	50
Barre et crochet.	25	30	35
Levier d'excentrique.	15	17.5	20
Arbre du tiroir.	3	4	5
Levier du tiroir.	12	14	16
Douille.	15	17.5	20
½ Appareil de la manette.	50	60	70
3 Supports.	20	25	30
Total de la main-d'œuvre. . . .	248	310	372
Matière première.	80	105	130
Total général. . . .	328	415	502

Et pour 2 appareils, ou 1 machine :

	fr.	fr.	fr.
	656	830	1004
d'où, prix de revient :	fr.	fr.	fr.
	1150	1450	1750
prix de vente :	fr.	fr.	fr.
	1300	1660	2000

§ 4. *Chaudière à vapeur et cheminée.*

Ce paragraphe comprend :

1° La boîte à feu, son enveloppe et sa grille ;
2° La chaudière cylindrique et les tubes ;
3° La boîte à fumée et sa cheminée.

1° *Boîte à feu, enveloppe et grille.*

1° *Matériaux*. Le cuivre étant le métal le plus conducteur de la chaleur, et, en même temps, le moins susceptible d'être attaqué par les gaz qui s'échappent du foyer, est exclusivement employé à la construction des boîtes à feu, et en général de toutes les surfaces de chauffe, dans les locomotives ; seulement pour les tubes on préfère le laiton au cuivre pur, parce que sa résistance à la pression extérieure est beaucoup plus forte que celle de ce dernier ; ce motif serait suffisant pour faire supposer que l'on doit aussi l'employer à la construction de la boîte à feu ; mais il n'en est pas ainsi, parce que d'abord la température dans cette partie est beaucoup plus élevée que dans les tubes, ce qui pourrait oxider tout le zinc contenu dans le métal ; ensuite, parce que l'élasticité du cuivre rouge étant infiniment plus grande que celle du laiton, si une déformation quelconque se manifeste dans la caisse à feu, le cuivre rouge se ploie et le laiton se fend. Il résulte de là que les boîtes à feu sont toutes en cuivre rouge ; leur enveloppe en tôle de fer, qui en est le métal par excellence, puisqu'à une moins grande conductibilité de la chaleur il joint encore une tenacité supérieure. Les boulons rivés qui traversent les deux enveloppes et contrebalancent la pression intérieure, en les maintenant à une distance constante l'une de l'autre, sont tantôt en cuivre, tantôt en fer. En ce dernier métal, ils présentent le grave inconvénient de se rouiller et par suite de se réduire à rien, ce qui rend leur effet nul, tandis qu'en cuivre ils sont en aussi bon état à la fin du service de la machine qu'au commencement.

Les barreaux de grille sont en fonte supportés sur un cadre en fer assemblé à la boîte à feu.

2° *Formes*. La boîte à feu est à chauffage ou sans chauffage de la vapeur ; dans les deux cas, les deux plaques transversales sont, autant que possible, chacune d'une seule feuille de tôle de cuivre à rebords pliés à angle droit par un quart de rond (fig. 1, 2, Planche XI), pour s'assembler à rivet avec les faces longitudinales.

L'une des deux plaques, celle qui reçoit les tubes, est d'une épaisseur à peu près double dans l'endroit de ces derniers, cela, afin qu'on puisse en multiplier le nombre sans nuire à la solidité, et aussi afin de faire un joint assez épais pour n'avoir pas à redouter les fuites.

Pour l'enveloppe en tôle de fer, le même système de construction des faces transversales a lieu. Pendant longtemps on les a assemblées au moyen de fer d'angle et rivets posés à chaud dans chacune des faces : ce procédé, qui était celui adopté pour les chaudières à basse pression et celles de bâteaux, est loin de valoir le nouveau, en ce que, d'abord, il exige double travail pour le rivage, ensuite il possède deux chances de fuite au lieu d'une pour l'eau renfermée dans la chaudière. Il est vrai que la seconde méthode est beaucoup plus difficile et exige d'excellente tôle, mais aussi elle est infiniment préférable.

La fermeture de la chaudière, qui a lieu dans le bas, se fait de plusieurs manières.

Dans certaines machines, c'est une plaque de tôle de cuivre recourbée et s'assemblant à rivets avec la tôle de la caisse à feu et celle de l'enveloppe ; dans d'autres, ce sont des fers d'angle formant l'escalier, assemblés au milieu entre eux, puis, dans le haut, avec la tôle de la caisse à feu et, dans le bas, avec celle de l'enveloppe. D'autres fois, c'est une pièce en fonte qui s'assemble aussi à rivets avec les deux tôles. Enfin, et c'est la meilleure méthode, on élargit le bas de la caisse à feu, comme dans la fig. 1 (Planche XI), et on l'assemble avec la tôle de l'enveloppe, en mettant entre les deux un càdre en fer plat ou même en ne mettant rien du tout; le cadre en fer plat a l'avantage de nécessiter un moindre élargissement de la partie inférieure de la caisse à feu. La porte du foyer s'assemble alors de la même manière avec l'enveloppe.

Pour empêcher la pression intérieure de déformer les faces planes, on profite de ce que deux faces correspondantes, une dans la caisse et l'autre dans l'enveloppe, sont exposées à des pressions égales et contraires pour les relier par des boulons vissés dans les deux faces et rivés ensuite en dedans. Ces boulons distants, en moyenne, de 10 centimètres les uns des autres, suffisent complètement pour rendre toute déformation impossible. Dans le haut, où l'enveloppe prend la forme cylindrique, cette dernière n'a plus à

craindre la déformation par excès de presion, mais la calotte de la boîte à feu, qui est plane, a besoin d'être soutenue, si on ne veut pas qu'elle rentre dans le foyer et se brise. A cet effet, on la recouvre de traverses en fer ou en fonte espacées à 15 centimètres environ les unes des autres, à forme parabolique, et percées, de 15 en 15 centim., de trous dans lesquels on passe des boulons qui les retiennent à la calotte, et mettent celle-ci dans l'impossibilité de bouger. Si on chauffe la vapeur, comme, dans ce cas, la calotte est en fonte, parce qu'une en cuivre serait bientôt brûlée, il suffit, pour la rendre résistante, d'augmenter son épaisseur, paraboliquement, depuis les bords jusqu'au milieu.

Il reste encore une portion de face plane, dans l'enveloppe, qui tend à être déformée par la pression intérieure, ou du moins sur laquelle la pression intérieure tend à tirer la caisse à feu hors des tubes et par suite à les désassembler. Pour empêcher cet effet nuisible, on traverse toute la chaudière, au-dessus des tubes, de boulons espacés de 10 en 10 centimètres, portant dans les deux faces planes extrêmes; ou mieux encore, on met sur chacune des faces opposées à cet endroit une traverse parabolique, comme sur la caisse à feu, reportant la pression du milieu sur les extrémités. Lorsque la caisse à feu est à chauffage de la vapeur, cette seconde méthode est préférable, parce que les trous de passage des boulons dans l'appareil de chauffage de la vapeur pourraient faire craindre que l'eau n'y entrât et amenât, soit la rupture de la plaque de fonte, soit une explosion; on peut aussi faire servir le tuyau de communication entre la chaudière et les cylindres comme tirant, produisant le même effet.

La porte du foyer (fig. 7) se compose de deux plaques de tôle distantes l'une de l'autre de 5 à 6 centimètres, et reliées seulement par des boulons à deux têtes rivées. Cette disposition a pour but d'empêcher le rayonnement du combustible d'agir directement sur la porte extérieure, ce qui, en perdant du calorique, risquerait de brûler fortement le chauffeur s'il n'y prenait garde. Au moyen de la plaque intérieure, faisant l'office d'écran, il se produit, entre les deux, un courant d'air qui, ayant léché une surface en contact avec l'eau, s'est assez refroidi pour reprendre une partie de la chaleur rayonnante absorbée par la plaque exposée au rayonnement direct.

La grille consiste en un certain nombre de barreaux d'une épaisseur de 2 à 3 centimètres, distants les uns des autres de 10 centimètres, et portés sur un cadre en fer quarré fixé à la caisse à feu au moyen de plaques en fer recourbé, représentées fig. 1 et 2 (planche XI), ces plaques sont assemblées à boulons avec la boîte à feu, et à vis avec le cadre. Dans plusieurs machines, notamment les premières, par suite de l'impossibilité dans laquelle on est de ringarer le combustible, on a fait les grilles mobiles, au moyen d'une pédale placée en dehors et facilitant la chute des escarbilles lorsqu'on l'agite avec le pied. Il paraîtrait que cette disposition n'est pas très-nécessaire, car depuis on a substitué à la pédale une poignée qui, placée au-dessous de la plate-forme du chauffeur, indique qu'elle ne sert que lorsque la machine est arrêtée; enfin, dans les plus nouvelles machines on n'a rien mis du tout.

Prise de vapeur. Dans les machines sans chauffage de la vapeur, on a, pendant longtemps, placé la prise de cette dernière au-dessus de la boîte à feu. Cette position avait l'inconvénient d'envoyer une grande quantité d'eau aux cylindres par suite de l'ébullition considérable qui a lieu en cet endroit; dés qu'on a reconnu cet inconvénient, on s'est empressé de placer la prise de vapeur à l'autre extrémité, aussi près que possible de la cheminée. Cette disposition est la meilleure, car, en admettant que la vapeur fournie par la caisse à feu soit plus chaude que celle fournie par le reste de la chaudière, si la prise a lieu du côté de la boîte à fumée, l'espace de vapeur qui se trouve au-dessus des tubes sert alors de conduit de la vapeur à cette prise, et cela en laissant déposer une grande partie de l'eau entraînée en suspension.

Quand on chauffe la vapeur, la prise de vapeur se trouve naturellement au-dessus de la boîte à feu, comme cela est représenté fig. 1 (Planche XI). La communication entre la chaudière et les cylindres est fermée par une soupape mue par une vis à manivelle, avec ou sans stuffing-box, suivant le degré de perfection apporté à la construction de la vis et de son écrou. Comme la soupape a besoin d'être retirée de temps à autre pour être rôdée, on perce la boîte à chauffage de la vapeur et l'enveloppe d'un trou égal à la surface de cette dernière, et on ferme ce trou au moyen du cylindre représenté fig. 11 (Pl. XI), taraudé dans le cuivre et assemblé à vis avec l'enveloppe. C'est au milieu de ce cylindre que

se place l'écrou de la vis et son stuffing-box. Lorsqu'on fait servir le tuyau horizontal de communication entre la chaudière et les cylindres, de tirant pour relier les deux faces planes extrêmes que tend à écarter la pression de la vapeur, on a deux ou plusieurs boulons qui traversent la boîte de chauffage et vont se visser en dehors, soit sur la plaque en cuivre, soit à côté.

2° *Chaudière cylindrique et tubes.*

Matériaux. Comme nous l'avons déjà dit, les chaudières sont en tôle de fer et les tubes en laiton.

2° *Formes*. La chaudière se compose de neuf feuilles de tôle, quelquefois de six seulement, et même trois, assemblées entre elles par la méthode ordinaire pour les faces planes, et avec les deux plaques extrêmes, soit au moyen de fer d'angle, soit recourbées à angle droit par un quart de rond, comme nous l'avons représenté fig. 1 et 2 (Pl. XI); à la partie supérieure est un trou d'homme pour aller nettoyer l'intérieur; comme le tuyau de conduite de la vapeur au cylindre passe au-dessous de ce trou, et en ferme en quelque sorte l'entrée, on peut le recourber, comme nous l'avons fait fig. 1 et 9 (Planche XI); mais alors ce tuyau ne peut plus servir de tirant pour les faces extrêmes, et il faut employer les traverses paraboliques dont nous avons parlé plus haut.

Nous avons, dit dans la seconde partie, que l'espace occupé par un tube, dans la section transversale de la chaudière, était égal à la surface d'un hexagone dont le diamètre intérieur serait 1.5 fois son diamètre. Or, il existe deux positions pour un hexagone : la ligne qui joint deux sommets opposés peut être verticale ou horizontale. La fig. 6 (Pl. XI) représente le tracé des tubes suivant ces deux positions de l'hexagone; à gauche, l'axe horizontal, à droite l'axe vertical. Pour déterminer laquelle de ces deux positions est la plus convenable, il faut avoir égard au mouvement de l'eau dans la chaudière. Ce mouvement est ascendant dans le milieu et descendant le long des parois de la chaudière, cela parce que la température produit dilatation et même évaporation, et que chaque vide qui se forme, doit être immédiatement rempli par d'autre fluide.

Quand l'axe est horizontal, le passage de l'eau qui monte se fait largement entre deux tubes, mais, à peine ces

deux tubes passés, l'eau en rencontre un troisième qui la fait dévier à droite et à gauche, et met en contact avec le feu le milieu de la colonne montante divisée ainsi en deux parties égales; cette division, tout en augmentant la température de l'eau, permet au tube de donner de la chaleur par tous les points de sa circonférence. Quand l'axe est vertical, au contraire, l'eau monte directement depuis le bas jusqu'en haut, par un canal plus étroit, il est vrai, mais sans être contrainte de circuler autour des tubes et ne léchant que la partie en contact avec la colonne en mouvement.

Il résulte de là, que le premier tracé est le meilleur, puisqu'il favorise le mieux le passage de la chaleur au travers des parois du métal. C'est du reste celui qu'on emploie généralement.

Les tubes se font avec des plaques de laiton laminées recourbées et brasées. Ils s'assemblent avec les faces planes de la boîte à feu et de la boîte à fumée au moyen de rondelles complètes en fer, ou mieux encore, au moyen de rondelles brisées et à clavettes, comme nous l'avons représenté fig. 3 (planche XI). Ce dernier moyen a été l'objet d'un brevet d'invention pris par M. Stéhélin, l'un de nos meilleurs constructeurs.

Les viroles de M. Stéhélin, avec leur renflement extrême à l'intérieur des tubes, sont, sans contredit, le meilleur perfectionnement que l'on pouvait apporter aux viroles ordinaires, en ce que non-seulement elles permettent de resserrer les joints quand une fuite se manifeste, mais encore parce que la pose primitive peut s'en effectuer solidement, ce à quoi on ne parvient que fort imparfaitement avec les premières, malgré les mandrins coniques que l'on bat dans leur intérieur pour agrandir leur diamètre.

Si, à la disposition de M. Stéhélin, on joint celle de M. Cail, chaudronnier du Creusot, consistant à donner deux diamètres différents aux trous dans lesquels entrent les tubes dans la plaque de la boîte à feu, l'un des diamètres égal au diamètre extérieur des tubes, et régnant sur $^2/_3$ de l'épaisseur, l'autre égal au diamètre intérieur et régnant sur $^1/_3$ en dehors, on aura le meilleur mode d'assemblage qu'il soit possible de désirer aujourd'hui. En effet, par la disposition de M. Cail, la dilatation ne peut se faire sentir que du côté de la boîte à fumée : or, si on met de ce côté les viroles de

M. Stéhélin, il sera facile de les resserrer, même en état de service, sitôt qu'une fuite se manifestera. On peut remplacer les viroles du côté de la boîte à feu par un taraudage de l'extrémité du tube dans cette dernière, ce qui agrandit la section d'écoulement en cet endroit.

Le nombre des tubes et leur diamètre sont proportionnels, comme nous l'avons vu dans la seconde partie, à la surface de chauffe que l'on veut avoir. Il est bon de ne pas les rapprocher trop les uns des autres afin de laisser plus facilement descendre les sels qui se déposent au fur et à mesure que l'eau passe à l'état de vapeur, et, à cause de cela, il faut, autant que possible, laisser du jeu entre les tubes extrêmes et la chaudière, et une hauteur de six à huit centimètres au moins vide au-dessous des tubes inférieurs pour loger les dépôts. Cette dernière précaution est indispensable, sans quoi, en peu de temps, les tubes inférieurs seraient brûlés, par suite de la couche calcaire, qui, les enveloppant, les empêche de laisser passer la chaleur qu'ils reçoivent du combustible, d'où résulte élévation de température, fusion de la soudure, et fuite du liquide dans le foyer.

3° *Boîte à fumée et cheminée.*

1° *Matériaux.* La tôle de fer est exclusivement employée à construire la boîte à fumée et la cheminée.

2°. *Formes.* La boîte à fumée se compose, comme l'enveloppe de la boîte à feu, de deux plaques transversales en tôle recourbée à chaud sur ses bords, pour s'assembler avec les plaques longitudinales. La plaque du côté des tubes a une épaisseur d'autant plus forte qu'elle doit non-seulement recevoir ces derniers, mais encore maintenir les cylindres fixes. La plaque extérieure est beaucoup plus mince, en ce qu'elle ne sert absolument qu'à fermer, ainsi que les plaques longitudinales qui forment l'entourage.

Pour passer les tubes pendant la construction, et pour aller réparer pendant le service de la machine, on munit la plaque extérieure d'une porte, dont la section est un peu supérieure à celle des tubes dans la chaudière; cette porte est assemblée à charnières et à verrous et peut s'ouvrir facilement. En outre, on met une seconde porte au-dessous des cylindres, assemblée de la même manière, et destinée à faire tomber les cendres qui ont été entraînées par la fumée à travers les tubes dans la boîte à fumée.

La cheminée couronne la boîte à fumée et s'assemble avec elle comme nous l'avons représenté, fig. 1, 8, 9, (pl. XI).

Tantôt son orifice supérieur est libre, tantôt il est muni d'un grillage en fil de fer dont le but est de retenir, autant que possible, les cendres dans l'intérieur de la boîte à fumée, ces dernières présentant le grave inconvénient de se répandre en poussière fine dans les divers wagons ouverts remorqués par la locomotive, et d'incommoder les voyageurs. Le grillage en fil de fer, tout en rétrécissant l'orifice d'écoulement de la fumée, ne détruit que fort imparfaitement l'effet nuisible de ces cendres ; néanmoins, il est toujours bon de l'employer jusqu'à temps qu'on ait trouvé un meilleur procédé.

3° *Dimensions générales.*

Réunissant ensemble les trois parties qui composent la chaudière, nous établirons ainsi leurs épaisseurs pour les trois largeurs de voie :

	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2.00
Épaisseurs des tôles.			
1° *Cuivre.*			
Boîte à feu ; plaques des tubes à l'endroit de ces derniers.	0.025	0.0275	0.03
Dans toutes les autres parties..	0.0150	0.0175	0.02
Tubes.	0.003	0.003	0.003
2° *Fer.*			
Enveloppe de la boîte à feu	0.001	0.0125	0.015
Chaudière cylindrique.	0.01	0.0125	0.015
Plaque des tubes de la boîte à fumée. . . .	0.0175	0.020	0.0225
Plaques de devant de *id.*	0.005	0.0075	0.0100
Plaques longitudinales.	0.0075	0.010	0.0125
Cheminée	0.005	0.0075	0.01

4° *Construction.* On exécute séparément la boîte à feu, l'enveloppe de la boîte à feu, la chaudière ronde, les tubes, la boîte à fumée et la cheminée. Les procédés d'exécution sont ceux que nous avons indiqués en parlant de la chaudronnerie ; le fer se courbe à chaud, le cuivre à froid. Nous

observerons, pour les plaques qui reçoivent les tubes, qu'il est bon de les percer avant de les assembler avec les autres, cette opération étant beaucoup plus facile alors que quand elles sont assemblées. Ces trous ne se font pas à l'emporte-pièce comme ceux des rivets, parce que cette méthode ne les donnerait pas assez exacts; ils se font à la machine à percer à mèche tournante.

Pour assembler, on commence par mettre la chaudière entre les deux plaques; cela fait, on entre la boîte à feu dans son enveloppe, place deux rangs de rivets à la partie inférieure et à l'entourage de la porte du foyer; ensuite on procède au posage des tubes. Pour cela, si on emploie la méthode ordinaire, on fraise légèrement en dehors les plaques d'assemblages, comme cela est figuré dans la planche XI; on passe les tubes par la boîte à fumée, les coupe de longueur, les repasse et rabat les bords extérieurs saillants dans la partie fraisée, de sorte que déjà ils se trouvent maintenus immobiles. Ensuite on a un mandrin légèrement conique que l'on enfonce dans leur intérieur à coups de marteau, jusqu'à temps que le joint entre le cuivre et le fer soit parfait, ce qu'on aperçoit quand le mandrin refuse d'aller plus avant. Cela fait pour tous les tubes, on enfonce les viroles au moyen d'un second mandrin intérieur à embase extérieure, dont le but est de diriger les coups du marteau bien normalement à la surface, sans abîmer les viroles. Ce travail fait avec soin, si on ne met que des viroles entrant difficilement, on a un excellent joint : si les viroles sont à clavettes, leur entrée est beaucoup plus facile, et il n'y a qu'à serrer ces dernières. Il serait peut-être bon, pour rendre le cuivre des assemblages plus malléable, de chauffer les extrémités des plaques qui servent à confectionner les tubes; opération qui, si elle n'enlève pas de zinc, leur fait perdre l'écrouissement qu'elles ont acquis dans le laminage.

Les tubes posés, on livre la chaudière au montage, la pose de la cheminée se faisant tout-à-fait en dernier lieu, parce que cette partie gênerait dans le soulèvement des chaudières pour les assembler avec le châssis.

5° *Prix de revient.*

Nous pouvons établir ainsi les poids moyens des chaudières pour chauffage de la vapeur et diamètre des tubes 0,045.

	Largeur de la voie.		
	mèt.	mèt.	mèt.
	1.50	1.75	2
	kil.	kil.	kil.
Tôle de fer.	3000	4500	6000
Rivets, rondelles et divers.	500	750	1000
Cuivre rouge laminé. .	1200	1800	2400
Cuivre jaune laminé. .	1200	1800	2400

En argent.

	fr.	fr.	fr.
Tôle de fer	3000	4500	6000
Rivets et rondelles. . .	250	375	500
Cuivre rouge	3600	5400	7200
Cuivre jaune	3600	5400	7200
Total. . . .	10450	15675	20900

Main-d'œuvre.

	fr.	fr.	fr.
Fabrication des rondelles	75	100	125
Chaudronnerie à raison de 50 fr. les 100 kil.	3000	4500	6000
Total général	13625	20275	27025

Prix de revient :	1.2 au lieu de 1.75 :		
	fr.	fr.	fr.
	16400	24400	32500
Prix de vente :	1.4 au lieu de 2 :		
	fr.	fr.	fr.
	19000	27500	38000

§ 5. *Châssis.*

Le châssis comprend :

1° Les points d'attache de la chaudière au châssis;
2° Le châssis, proprement dit;
3° La plate-forme et la grille du chauffeur;
4° Les ressorts;
5° Les coussinets d'essieux.

1° *Matériaux*. Les points d'attache de la chaudière au châssis se font en fer forgé ou en tôle; le châssis en bois et tôle reliés par des boulons; la plate-forme du chauffeur en tôle et sa grille en fer; les ressorts en acier relié par du fer, les coussinets d'essieu en cuivre jaune et quelquefois en fonte.

2° *Formes*. On fixe toujours les chaudières au châssis en trois points de chaque côté, parce que, bien que le milieu soit à même de résister à la charge qu'il supporte, il finirait toujours à la longue par s'affaisser si on le laissait sans soutien, effet dont le résultat serait d'établir un mouvement dans les joints transversaux des plaques de tôles et d'occasion des fuites. Ces points d'attache, que l'on répartit autant que possible uniformément, sont, le premier au milieu de la boîte à feu, le second entre les roues motrices et les roues de devant, la troisième au milieu de la boîte à fumée. Généralement, ils se composent d'un triangle en fer dont l'un des côtés est formé par la paroi de la chaudière, à laquelle ils s'assemblent à rivets aux deux sommets qui y aboutissent, et avec le châssis au troisième sommet par un boulon qui traverse ce dernier de part en part. Dans quelques machines on a remplacé ces triangles en fer par des plaques de tôle transversales dont l'apparence est plus agréable à l'œil, mais dont la solidité n'est pas tout-à-fait aussi grande. Ces plaques ont l'inconvénient de rendre plus difficile l'abordage de l'intérieur pour les réparations, et de s'assembler bien moins facilement avec la chaudière et le châssis, tout en se prêtant moins que les triangles au passage des barres qui servent à mouvoir la détente et les excentriques.

On distingue deux espèces de châssis :

Le châssis droit;

Le châssis courbe.

Le châssis droit consiste en plaques de tôle rectangulaires, séparées deux à deux par une pièce de bois de chêne, et reliées par des boulons à écrous. Ces plaques, qui s'exécutent très-facilement à l'ajustage, sur la machine à raboter, présentent l'inconvénient d'exiger un rapport de deux fourchettes extérieures à chaque essieu pour le logement des coussinets; de plus, le châssis se trouvant au-dessus de l'essieu de la grande roue, est à une distance assez grande de ceux des petites; il en résulte que, quand un mouvement

transversal se manifeste, les fourchettes de ces essieux plient et ne contribuent nullement à retenir la machine en place.

Pour rapprocher les châssis des roues, MM. Sharp et Roberts ont imaginé de les faire onduler, suivant la hauteur de chaque essieu; alors le mode d'exécution étant tout-à-fait changé et exigeant le découpage courbe à la machine à percer et à la machine à parer, il n'est plus nécessaire de rapporter les fourchettes des coussinets, et on les découpe avec le châssis même, ce qui est infiniment plus solide que la première méthode. La fig. 8 (planche XI) représente un châssis analogue à ceux de MM. Sharp et Roberts, à la seule différence près que, chez ces messieurs, la distance entre le châssis et l'essieu de la roue sous la plate-forme du chauffeur est assez grande pour y loger les ressorts et permettre de placer la plate-forme sur le châssis même, sans rencontrer les roues, tandis que chez nous le châssis conserve sa distance constante des roues et maintient la plate-forme surhaussée au-dessus de la jante au moyen d'un prolongement de la tôle des plaques; le ressort se loge alors entre le châssis et la plate-forme.

Nous ne parlerons pas des jonctions transversales, non plus que de la plate-forme et de la grille, dont les dispositions sont simples et peu importantes. Les ressorts s'exécutent généralement comme ils sont représentés fig. 8 (Pl. XI).

Ils se composent d'une série de lames d'acier, d'inégales longueurs, arrondies légèrement en dessus, et formant en dessous la parabole, afin que les sections n'aient que juste les dimensions qui sont nécessaires pour résister à la pression qu'elles ont à supporter. Ces lames sont entourées en leur milieu d'un cadre en fer forgé, percé ainsi qu'elles d'un trou dans lequel passe la tige de fer qui reporte le poids de la machine sur le coussinet. Ce trou qui traverse les ressorts a le grave inconvénient de les affaiblir dans la proportion de la section qu'il leur enlève, mais il est nécessaire pour les maintenir en place; il ne suffit même pas, car, pour empêcher les lames d'osciller horizontalement les unes d'un côté, les autres de l'autre, on les munit, à chacune de leurs extrémités, de petits ressauts rapportés en fer, et entrant dans des échancrures faites à la lame inférieure. Le châssis est suspendu au ressort, au moyen de tringles en fer traversées à chaque point de jonction par un boulon qui lui

permet de décrire des petits arcs de cercle, suivant l'allongement et le raccourcissement du ressort provenant des oscillations verticales de la machine.

Le poids qu'auront à supporter les ressorts et leur fléchissement exact pour ce poids étant tous deux inconnus, les longueurs des tringles ne sont rigoureusement déterminées que quand, la machine ayant été montée complètement et remplie d'eau, les ressorts assemblés aux châssis par des tringles provisoires indiquent chacun leur réfléchissement et la quantité dont il faut baisser ou hausser le châssis pour que l'axe de la tige du piston vienne passer par le centre de l'essieu coudé. Cet axe, qui théoriquement est horizontal, peut être, pratiquement, légèrement incliné, mais d'une quantité invisible à l'œil, pourvu qu'il passe par le centre de l'essieu coudé. Il résulte de là que, quand la machine a été suspendue bien horizontale et à la hauteur convenable sur ses ressorts, laissant un jeu de 5 centimètres au-dessous de chacun d'eux, pour les oscillations, on donne des longueurs exactes aux tringles des roues motrices et des petites roues de devant, puis on construit celles des troisièmes de telle sorte qu'elles puissent s'allonger ou se raccourcir à volonté, ce à quoi on parvient en les faisant d'une seule pièce, deux à deux et terminées par un écrou en dessous, comme cela est représenté fig. 8 (Pl. XI). Il arrive de là que, quand la machine est en service, si on remarque que le centre de l'essieu coudé est au-dessus ou au-dessous du plan du mouvement, on considère l'axe des roues de devant comme centre, et on serre ou desserre les écrous des tringles des roues de derrière, jusqu'à temps que le centre de l'essieu coudé soit à sa place. Cette méthode n'a pour inconvénient que d'augmenter ou d'affaiblir légèrement la charge sur les ressorts du milieu, suivant qu'on baisse ou monte le châssis, et de soulever ce dernier d'un côté seulement.

Les coussinets d'essieux en bronze, cuivre jaune ou fonte, s'exécutent assez généralement comme nous les avons représentés, fig. 10 (Pl. XI). Ils sont munis à la partie supérieure d'une boîte à huile arrosant sans cesse l'essieu au moyen de deux mèches de coton qui, plongées d'une part dans l'huile, de l'autre, dans deux petits tubes en fer qui communiquent avec le centre du coussinet, font siphon sans cesse amorcé par la capillarité des fils de coton, propriété dont le résultat est de faire pénétrer les liquides entre les so-

lides toutes les fois que ces derniers sont à de petites distances. Le mouvement vertical alternatif dont le châssis est doué en vertu des ressorts qui le font porter sur l'essieu, a pour effet d'établir un frottement entre les faces verticales des coussinets et celles correspondantes dans les échancrures où ils se meuvent. Il résulte de ce frottement non-seulement usure des coussinets, mais encore usure des parties fixes avec lesquelles ils sont en contact. Pendant longtemps, considérant l'usure de la partie fixe comme de peu d'importance, on a fait les coussinets à joints intérieurs, glissant contre les plaques de tôles du châssis et retenus par elles à l'abri du mouvement horizontal, soit en long, soit en travers, qu'ils pouvaint tendre à prendre ; il en est résulté qu'au bout d'un certain temps, l'usure qui avait lieu dans ces plaques par suite du frottement continuel des coussinets, élargissait la place occupée par ces derniers et nécessitait, pour éviter une prompte détérioration résultant des chocs occasionés par ce jeu, le changement complet des plaques de tôle rapportées au châssis. Pour éviter ce changement, et aussi parce qu'il nécessitait celui des tôles du châssis qui, chez eux, sont d'un seul morceau avec ces plaques, MM. Sharp et Roberts ont imaginé de placer, entre les plaques, des glissoirs rapportés en fonte, fig. 10 (Pl. XI), qui, embrassés de toutes parts par le coussinet et ses joues, supportent seuls le frottement de ces derniers. Cette disposition a le double avantage de laisser le châssis intact, et de permettre le rapprochement de surfaces frottantes, à mesure qu'elles s'usent. Or, la largeur de ces surfaces étant beaucoup plus grande que dans le premier cas, et la fonte ne s'usant en quelque sorte pas par le frottement, on n'a jamais à retoucher à ces pièces.

Pour maintenir l'écartement entre les extrémités des échancrures des plaques du châssis, on les relie par des tirants en fer dont le but est aussi d'empêcher les coussinets de sortir de l'échancrure, si un grand choc venait à se manifester.

Dans les machines où le châssis est droit, on prolonge ces tirants extérieurement, de manière à venir se rejoindre d'une roue à l'autre, dans le milieu et aux extrémités du châssis.

On a, comme cela, deux lignes de tirants : l'une supérieure au niveau du tirant de l'échancrure des grandes roues, allant se perdre dans les échancrures des petites ; l'autre, inférieure, au niveau des tirants des échancrures des petites roues, et allant aboutir, en remontant de chaque côté, dans les extré-

mités du châssis. Ces tirants ou tringles transversales ont l'avantage de maintenir ce dernier rigide et incapable de se courber par suite de la résistance qu'opposent les petites roues au mouvement.

3° *Dimensions*. Elles peuvent être les suivantes :

	Largeur de voie.		
	mèt.	mèt.	mèt.
	1.50	1.75	2.00
Largeur des châssis. . .	0.20	0.25	0.30
Epaisseur	0.10	0.125	0.15
Epaisseur des tôles. . .	0.01	0.011	0.012
Diamètres des petites roues.	1.00	1.20	1.40
Diamètres des essieux des petites roues.			
Dans les roues.	0.13	0.15	0 17
Au corps.	0.11	0.13	0.15
Dans les coussinets. . .	0.09	0.11	0.13
Longueur des ressorts.			
Grandes roues.	0.80	0.90	1.00
Petites roues.	0.60	0.70	0.80

4° *Construction*. Les pièces des châssis les plus difficiles à exécuter sont les quatre faces, en tôle découpée, qui portent les échancrures des coussinets d'essieux. Quand les châssis sont droits, on fait laminer du fer plat, de dimensions suffisantes, pour donner, après son passage au laminoir à tôle, de quoi enlever à la machine à raboter sur la largeur seulement. Les plaques arrivées à l'ajustage, on trace dessus le contour de la partie utile et les places des boulons qui traverseront; ensuite on perce et on assemble les quatre plaques par des boulons provisoires qui, en augmentant l'épaisseur, donnent plus de facilité pour les faire passer à la machine à raboter, toutes ensemble.

Quand les châssis sont courbés, on les décompose, pour le travail, en trois parties que l'on ne soude que quand elles

sont terminées. Pour cela on fait trois calibres qui, rapportés l'un à côté de l'autre, représentent exactement les plaques du châssis comme si elles étaient d'une seule pièce. On découpe sur chacun de ces trois calibres, et à la fois, quatre plaques de tôle ayant l'épaisseur voulue. Pour opérer ce découpage, on perce des trous à la machine à percer tout autour de la trace du gabarit, et on achève d'enlever à la machine à parer. Les plaques ainsi exécutées, on les soude de bout, opération assez délicate et qui exige l'emploi d'un nouveau calibre intermédiaire, donnant la direction exacte des plaques rapportées.

La partie en bois s'exécute, autant que possible, d'un seul morceau; dans le cas où on ne peut y parvenir, par suite d'une trop grande largeur, on fait les joints horizontaux en rapportant les bois parallèlement, au lieu de les poser bout à bout, ce qui aurait l'inconvénient d'interrompre la résistance du bois au point de jonction. Quand la nécessité de faire les remplissages de deux morceaux provient de la longueur trop grande, ce qui est fort rare, on assemble les pièces à trait de Jupiter.

Viennent ensuite les ressorts qui, comme nous l'avons dit, se composent d'une série de lames d'acier recourbées et d'inégales longueurs, superposées et maintenues assemblées par un cadre en fer placé au milieu. Pour exécuter ces lames, on prend de l'acier du même échantillon qu'elles et on le coupe suivant les diverses longueurs qu'elles affectent; ensuite on met ces lames dans un four à réchauffer, et quand elles sont rouges on leur donne la courbure qu'elles doivent avoir, sur un mandrin en fonte préparé à cet effet. Ce travail exécuté, on arrondit les extrémités, fait les mortaises des extrémités à la lime et pose les petites saillies en fer qui doivent glisser dans ces mortaises. Les lames ainsi préparées, on les assemble, les trempe et place le cadre en forme d'étrier que l'on ferme à chaud dessus afin de les serrer les uns contre les autres aussi complètement que possible. On ajuste le cadre, perce le trou, et place la tige à embase qui va porter, par son autre extrémité, sur le coussinet. L'exécution des autres pièces ne présente rien de remarquable et ressemble en tout à celle des pièces générales analogues.

5° *Prix de revient.* On peut établir ainsi les poids des pièces composant le châssis :

	Largeur de la voie.		
	mèt.	mèt.	mèt.
	1.50	1.75	2.00
	kil.	kil.	kil.
Tôles de fer.	700	800	900
Fer des attaches.	100	125	150
Tirants et boulons. . . .	150	200	250
Divers en fer.	150	200	250
Fontes des glissoirs. . .	60	80	100
Ressorts en acier.	300	350	400
Coussinets en cuivre. . .	100	125	150
Bois de chêne.	250	300	350

En argent.

	fr.	fr.	fr.
Fers.	550	687.50	785
Fonte.	15	20	25
Acier.	750	875	1000
Cuivre.	300	375	425
Bois.	50	75	100
	1665	2032.50	2325

Main-d'œuvre.

	Largeur de voie.		
	mèt.	mèt.	mèt.
	1.50	1.75	2.00
	fr.	fr.	fr.
Attaches.	50	60	70
Châssis, garni, plaques.	300	350	400
Boulons et tirants. . . .	80	100	120
Assemblage.	100	125	150
Ressorts.	150	175	200
Coussinets.	120	140	160
	800	950	1100
Matières premières. . .	1665	2032.50	2325
Totaux.	2465	2982.50	3425
	fr.	fr.	fr.
d'où, prix de revient :	4300	5200	6000
	fr.	fr.	fr.
prix de vente :	4950	6000	6850

§ 6. *Appareils d'alimentation et de sûreté.*

Les appareils d'alimentation sont :

Les corps de pompes,
Les clapets,
Les tuyaux d'alimentation.

Les appareils de sûreté sont :

Les soupapes de sûreté,
Les plaques fusibles,
Les niveaux d'eau,
Le manomètre,
Les sifflets,
Les boîtes à huile,
Les robinets de vidange,
Les tampons des boîtes à feu.

1° *Matériaux*. Tous ces appareils, qui sont en général de petites dimensions, ont pour métal prédominant le cuivre jaune, sauf les corps de pompes qui sont en fonte, et les tuyaux d'alimentation en cuivre rouge.

2° *Formes. Appareils d'alimentation*. La fig. 14 (Pl. XI) représente un corps de pompe tel qu'ils s'exécutent généralement pour locomotives, quand on les assemble avec les entretoises. Les clapets, au nombre de trois, pour motifs que nous avons donnés dans la première partie, sont à boulets, ce système étant de beaucoup préférable aux autres pour de grandes vitesses, en ce que le boulet redescend beaucoup plus vite que les soupapes ordinaires par suite de son peu de frottement. On comprend qu'il est important que la fermeture ait lieu promptement, à de grandes vitesses, car, sans cela, il n'y aurait pas d'alimentation régulière, l'eau revenant dans le corps de pompe à chaque aspiration; ce motif seul suffirait pour expliquer l'emploi des deux clapets, dont l'un peut ne pas fonctionner aussi régulièrement que l'autre, par suite d'engorgement ou autre cause analogue. La fig. 11 représente la disposition des boulets, le plus généralement employée; la chapelle est disposée de manière qu'on peut les visiter facilement ; il est bon d'avoir soin de faire les joints du couvercle de cette dernière à portées tournées, afin de n'être pas obligé, chaque fois qu'on les visite, de refaire un joint de mastic. Les tuyaux en cuivre rouge sont terminés, du côté du tender, par un raccordement

à genoux, dont la disposition la plus générale est représentée fig. 20 (Pl. X). Les deux tubes concentriques, qui glissent l'un dans l'autre, sont séparés par un stuffing-box qui empêche toute espèce de fuite du liquide.

Appareils de sûreté. 1° *Soupapes.* Elles sont de deux espèces : les soupapes à charge directe et les soupapes à levier. Les premières (fig. 17, Pl. X) sont tantôt chargées d'un poids, tantôt pressées par un ressort qui produit le même effet. Les secondes (fig. 19, Pl. X) sont terminées par un appareil à ressort plus faible que le premier, puisque la résistance à vaincre est moins grande, et muni d'un indicateur donnant la pression du soulèvement des soupapes, suivant le degré de tension que l'on fait éprouver à ce dernier. Dans une machine il y a toujours deux soupapes : une à laquelle on ne doit pas toucher, et qui est réglée par l'Administration des Mines; c'est celle à charge directe; l'autre qui est à la discrétion du chauffeur et se règle à chaque instant à volonté; c'est celle à levier et indicateur. La première est destinée à empêcher la machine de fonctionner à une pression supérieure à celle que les essais ont constatée comme convenable; la seconde est destinée à indiquer à quelle pression on marche.

Les deux soupapes sont munies de petites cheminées en cuivre dont le but est de lancer, dans l'atmosphère, la vapeur qui s'échappe quand elles se soulèvent, et de permettre ainsi au chauffeur de toujours voir devant la machine, ce qui n'aurait pas lieu si la vapeur se dégageait au niveau de la soupape.

Les diamètres des soupapes de sûreté sont déterminés d'après la quantité de vapeur que les chaudières sont destinées à produire dans un temps donné. (Voir *page* 95.)

2° *Plaques fusibles.* Ce sont des alliages de plomb, bismuth et étain, dans des proportions telles que leur point de fusion correspond précisément à la température maxima, et, partant, à la pression maxima que peut avoir la vapeur dans les chaudières.

On les place généralement à l'extrémité d'un petit tuyau dont le diamètre est égal à celui de la soupape de sûreté, entre la bride de ce dernier et un grillage métallique d'une épaisseur suffisante pour empêcher la plaque de se déformer par suite de la pression intérieure : ce grillage est assemblé à bride avec la bride du petit tuyau saillant sur la chau-

dière. Comme on n'a pas toujours à sa disposition une plaque fusible pour remplacer celle qui vient de fondre, quand la pression a été poussée trop loin, on a soin d'adapter au tuyau de cette dernière un robinet qui permet de fermer la communication jusqu'à temps qu'on s'en soit procuré une nouvelle.

3° *Niveaux d'eau*. Ils sont de deux espèces : le niveau à tube de verre, le niveau à robinets. Le premier consiste en un tube de verre vertical communiquant avec l'eau et la vapeur par chacune de ses extrémités, de manière que la ligne de séparation de ces deux dernières se trouve en son milieu. Son assemblage avec la chaudière se fait au moyen de deux raccordements en cuivre jaune, munis chacun d'un robinet dont le but est de fermer la communication quand ce tube de verre est cassé, ce qui arrive encore assez souvent par suite de la différence des températures intérieure et extérieure. Il résulte de là que les raccordements doivent être construits de telle manière que l'on puisse facilement remplacer un tube cassé, sans démonter leur assemblage avec la chaudière.

Le niveau à robinets consiste simplement en trois robinets placés l'un au-dessous, l'autre au niveau, le troisième au-dessus de la ligne de séparation de l'eau avec la vapeur.

4° *Manomètre*. Le manomètre est l'appareil destiné à indiquer la pression dans la chaudière. Il est basé sur le principe de la loi de Mariotte, que les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions. On suppose, pour graduer cet appareil, les températures constantes, parce qu'il faudrait un calcul chaque fois que l'on voudrait déterminer la pression exacte. Afin de rendre les erreurs le plus petites possible, on est obligé d'éloigner le manomètre de la chaudière, et alors il est exposé à être brisé et gêne le service.

Les calculs pour la graduation du manomètre sont indiqués à la *page* 97.

5° *Thermomètre*. Pour employer le thermomètre dans les machines, on le place dans un petit tube en cuivre fermé par une extrémité plongée dans la chaudière, et ayant l'autre assemblée à bride avec les parois de cette dernière; afin de rendre la transmission de chaleur plus sensible, on entoure la boule du thermomètre de grenaille de cuivre. Cet instrument n'a jamais été employé jusqu'à présent dans le service journalier des locomotives ; cependant il pourrait y

figurer avantageusement, parce qu'il sert à vérifier les indications du manomètre. La précaution de renfermer la boule du thermomètre dans un tube de cuivre a pour but de ne pas l'exposer à la pression dans l'intérieur, laquelle lui ferait indiquer une température supérieure à la température réelle.

6º Les *sifflets*, fig. 18 (planche X), sont destinés à prévenir les personnes qui sont sur la voie, que le convoi va passer et qu'elles aient à se ranger.

Leur principe est le même que celui des sifflets ou flageolets ordinaires; seulement, pour rendre le son plus fort, au lieu de faire sortir la vapeur sur une petite longueur, on la répartit sur toute une circonférence, au moyen d'un disque et d'une capsule dont le diamètre est très-rapproché de celui de la circonférence extérieure du disque. La partie en biseau sur laquelle le gaz, en s'échappant, vient se diviser et produire le bruit, se trouve alors être une espèce de timbre, dont l'effet est d'augmenter encore la clarté du son.

7º *Boîtes à huile*. La fig. 13 (planche XI) représente une boîte à huile telle qu'on les emploie assez généralement dans les locomotives; on en met comme cela une sur chaque pièces où il y a frottement. Dans quelques machines on remplace les boîtes à huile partielles par une boîte générale allant porter l'huile à toutes les parties qui en ont besoin par de petits tuyaux que l'on peut fermer à volonté par des robinets, ce qui a l'avantage de ne pas donner d'huile quand on n'en a pas besoin. Ces grandes boîtes sont très-bonnes en ce qu'elles permettent un renouvellement d'huile très-prompt aux diverses stations de la machine; mais elles ne valent rien pour les réparations ou le nettoyage des machines, à cause de cette foule de petits tuyaux qui circulent de côté et d'autre et nuisent d'ailleurs à l'apparence de la machine.

8º *Robinets de vidange*. Ils se placent au bas de la boîte à feu pour vider les chaudières quand elles passent à l'atelier de réparation.

9º *Tampons des boîtes à feu*. Ce sont de petits troncs de cône en cuivre jaune, de 5 centimètres de diamètre moyen, filetés sur toute leur hauteur, et munis d'une tête quarrée qui sert à les visser dans les quatre faces de la boîte à feu, un peu au-dessus de son assemblage avec l'enveloppe à la partie inférieure. Ces tampons bouchent des trous que l'on

ouvre quand on veut nettoyer la chaudière pour y passer des tringles en fer recourbées à leur extrémité, dont le but est de détacher les dépôts qui se sont déposés dans cette partie. Il est peu de machines où on ait la précaution de placer de ces appareils pendant la construction, il en résulte que, comme ils sont indispensables, on est obligé de les poser quand les machines sont en service, ce qui est beaucoup plus dispendieux.

Nous ne parlerons ni des dimensions, ni de la construction des divers appareils ci-dessus décrits, en ce qu'ils constituent pour la plupart un travail étranger à l'atelier de construction. Leurs poids entrant pour fort peu dans leur valeur, nous donnerons les prix de vente tels qu'ils existent généralement.

	Largeur de voie.		
	m. 1.50	m. 1.75	m. 2.00
	fr.	fr.	fr.
2 Corps de pompe avec stuffing-box et boulons. . .	150	200	250
6 Soupapes à boulets garnies.	360	400	440
Tuyaux d'alimentation garnis.	100	125	150
2 Rallonges à genoux. . . .	600	700	800
1 Soupape de sûreté à charge directe complète. . . .	100	120	140
1 *Id.* à levier *id.*	100	120	140
1 Plaque fusible et robinet garnis.	65	70	75
1 Niveau d'eau en verre. .	75	80	85
3 Robinets de niveau. . . .	15	18	21
1 Manomètre garni.	25	30	35
1 Thermomètre garni. . . .	25	30	35
1 Sifflet.	45	50	55
16 Boîtes à huile.	80	90	100
2 Robinets de vidange. . .	36	40	44
4 Tampons.	20	25	30
2 Robinets de cylindres. . .	50	60	70
Divers cuivres pour couvertures, joints, etc. . . .	100	125	150
	1946	2283	2620

Résumé des poids et prix de vente des pièces détachées.

1° POIDS.

	Largeur de voie.		
	mèt. 1.50	mèt. 1.75	mèt. 2.00
	kil.	kil.	kil.
2 Roues motrices.	2000	2900	4100
4 Petites roues.	1800	2250	2825
1 Essieu coudé.	400	500	600
2 Essieux droits.	200	250	300
4 Entretoises et guides. . .	500	760	1020
2 Bielles, têtes, etc.	160	220	280
2 Mouvements des tiroirs. .	380	500	620
2 Cylindres garnis, moyens.	1100	1340	1600
1 Chaudière garnie.	6000	8900	11800
1 Châssis garni.	1800	2200	2600
Appareils de sûreté et d'alimentation.	250	300	350
Totaux. . . .	14590	20120	26095

2° PRIX DE VENTE.

	fr.	fr.	fr.
2 Roues motrices.	3400	4900	7000
4 *Id.* petites.	3600	4400	5200
1 Essieu coudé.	1260	1600	1940
2 Essieux droits.	380	474	568
4 Entretoises et guides. . .	1580	2560	3280
2 Bielles, têtes, etc.	1130	1540	1985
2 Mouvements des tiroirs. .	1300	1660	2000
2 Cylindre à vapeur.	2000	2300	2600
1 Chaudière.	19000	27500	38000
1 Châssis.	4950	6000	6850
Appareils de sûreté et d'alimentation.	1946	2283	2620
Totaux. . . .	40446	55217	72043

non compris les frais de montage.

ARTICLE II. — ASSEMBLAGE DES PARTIES COMPOSÉES, OU MONTAGE DES MACHINES.

Avant d'entrer dans les détails du montage, nous dirons quelques mots sur la confection du projet dont les principes doivent servir de base au travail de cette opération.

Ayant adopté un système de construction pour chacune des six parties qui, réunies, constituent une locomotive, la confection du projet réside dans la détermination exacte des dimensions et l'assemblage sur papier de ces diverses parties, afin d'être sûr que l'on n'a assigné à aucune des pièces composantes une des positions que devra occuper une autre pièce pendant le mouvement.

Si on fait les dessins de chaque pièce successivement en partant des roues, dans l'ordre que nous avons indiqué précédemment, il arrive à coup sûr que certaines pièces, dont les dimensions sont invariables, se trouvent occuper les mêmes places que d'autres qui sont susceptibles de modifications, soit dans leur forme, soit dans leur position. Pour éviter cela, il suffit de décomposer les pièces des machines en deux espèces :

1° pièces invariables, indépendantes ;

2° pièces variables, dépendantes des premières ;

Puis de dessiner séparément chacune des pièces invariables, que l'on relie ensuite au moyen des pièces variables.

Pour trouver à laquelle de ces deux classes appartient chacune des pièces composantes, nous allons énumérer succinctement les fonctions et modes de détermination des dimensions des parties dans lesquelles elles figurent.

1° *Roues*. Le diamètre des roues étant donné, toutes leurs dimensions se trouvent déterminées, et on peut les dessiner complètement. Or, généralement, on ne connaît exactement que le diamètre des roues motrices, celui des petites étant déterminé par les dispositions ultérieures ; les roues se trouvent donc réparties dans les deux classes :

Roues motrices.	indépendantes.
Petites roues.	dépendantes.

2° *Transmission du mouvement. Essieux*. Toutes les dimensions des essieux sont connues *à priori*, sauf la distance entre les manivelles de l'essieu coudé, distance déter-

minée par l'écartement des cylindres. Les essieux se divisent donc en :

Essieux des petites roues. indépendants.
Essieu coudé. . . . . . . dépendant.

Entretoises et guides. Les entretoises sont des pièces indépendantes, en tant que l'on n'a pas égard à la position des pompes sur les entretoises extrêmes. Or, comme la position de ces dernières n'est pas arbitraire et est assujéttie à l'écartement des cylindres, il en résulte que les entretoises sont des pièces dépendantes ; quant aux guides, ce sont des pièces indépendantes.

Bielle, tête de tige et glissoirs, axe transversal et mouvement du piston de la pompe. Les trois premières sont indépendantes ; les deux dernières dépendent de l'écartement des entretoises et de la position de la pompe.

Mouvement du tiroir. La course du tiroir est inconnue tant que le cylindre n'est pas dessiné ; de là, toutes les dimensions de pièces qui servent à transmettre le mouvement de l'excentrique au tiroir sont inconnues ; le mouvement du tiroir est donc une partie dépendante.

3° *Cylindres à vapeur*. Le diamètre des cylindres étant donné, toutes leurs dimensions se trouvent déterminées. Or, le diamètre dépend, non-seulement de la largeur de la boîte à fumée, mais encore de la place occupée par les leviers d'excentrique entre les entretoises. Comme l'appareil des excentriques dépend lui-même des tiroirs qui font partie des cylindres, il y a un tâtonnement à faire. Ce tâtonnement, fait une fois pour toutes, donne pour diamètre maximum des cylindres 0,35 du diamètre de la chaudière. Dans ce cas, l'écartement entre les axes varie entre moitié de la largeur de la voie et moitié de la largeur de la boîte à fumée, et se détermine en ayant égard à l'injection dans la cheminée et à la place des leviers d'excentriques entre les entretoises du milieu. Les cylindres sont donc des pièces indépendantes.

4° *Chaudière*. La chaudière est une partie dépendante en ce qui concerne la boîte à fumée, parce que la longueur de cette dernière et sa hauteur au-dessous de la partie cylindrique dépendent complètement des cylindres. Les autres parties sont indépendantes quand on connaît le diamètre de la partie cylindrique.

5° *Châssis.* Le châssis ne peut s'exécuter que quand le tout est mis en place, c'est dire assez que c'est une partie dépendante.

6° *Appareil de sûreté et d'alimentation.* Les pompes sont indépendantes si l'on ne considère que le corps et les clapets ; mais comme le corps est toujours fixé aux entretoises par une plaque de fonte coulée avec lui, et les chapelles des clapets assemblées différemment, suivant les positions des corps de pompes, il en résulte que toutes ces pièces sont dépendantes.

Les appareils de sûreté sont tous indépendants.

Si nous réunissons les différents résultats que nous venons d'obtenir, nous trouvons :

Pièces invariables ou indépendantes.	Pièces variables ou dépendantes.
Roues motrices.	Essieu coudé,
Essieux droits.	Entretoises.
Têtes de tige de pistons.	Mouvement des pompes.
Bielles.	Mouvement des tiroirs.
Glissoirs.	Chaudière.
Guides.	Châssis et les dépendances.
Cylindres à vapeur et leurs accessoires.	Appareils d'alimentation.
Appareils de sûreté.	

Pour exécuter un projet, on dessine d'abord tout ou partie des pièces invariables, et on suit la marche suivante pour les autres.

Après les roues motrices qui donnent la hauteur du plan du mouvement et la largeur exacte dont on peut disposer entre elles pour la transmission de ce dernier, viennent les cylindres à vapeur qui, donnant la course des tiroirs, permettent de déterminer la longueur du levier de ce dernier ainsi que celle du levier d'excentrique et la course de cette dernière, ou tout le mouvement du tiroir, en ayant soin d'établir la ligne de dessous de la chaudière cylindrique d'après les dimensions de la boîte à vapeur. C'est l'épure que nous avons figurée, n° 7 (planche X). On obtient ainsi la place des manivelles de l'essieu coudé, place déterminée, non-seulement par la distance nécessaire entre les cylindres pour le tuyau d'injection, mais encore par la largeur occupée entre

les entretoises du milieu par les leviers et supports des tiroirs, puis enfin le mouvement des pompes et les pompes elles-mêmes.

D'autre part, les cylindres donnant la longueur exacte de la boîte à fumée, on peut dessiner complètement la chaudière; alors on a les figures 1, 2, 5, 6, de la planche XI.

La chaudière, représentée en élévation avec les roues motrices, comme dans les figures 8, 9 (planche XI), on y adapte le châssis et toutes les dépendances de ce dernier, dont font partie les mouvements des barres d'excentriques et de la détente. Enfin, on termine par les chapelles et les boulets des pompes alimentaires.

Dans le montage, la marche à suivre diffère peu de celle-ci, comme nous allons le voir.

L'emplacement du montage d'une locomotive se compose d'un chemin de fer à largeur variable, suivant la largeur de la voie de la locomotive à monter, régnant sur chaque côté d'une fosse de 1 mètre de profondeur et d'une longueur d'au moins 6 mètres. Sur cette fosse se placent transversalement des poutres destinées à supporter la chaudière que l'on pose, en premier lieu, parfaitement de niveau. Cela fait, on trace dans les plaques de la boîte à fumée les entrées des cylindres et des stuffing-box des tiroirs; ces entrées, qui pourraient se faire à la chaudronnerie, sont réservées de préférence pour le montage, parce qu'on peut avoir à craindre quelques variations dans la position rigoureuse de la boîte à fumée et dans les épaisseurs des fontes des cylindres. Il faut alors les opérer en perçant au foret à main une série de trous tout autour en dedans, puis, en faisant sauter au bédane les portions de fer restantes, et finissant au burin et à la lime.

Alors on pose les cylindres que l'on assemble seulement avec les plaques fortes par leurs brides intérieures: on met les boîtes à vapeur, soit mastiquées, soit à portées, on les serre par leurs boulons, et on laisse libre ainsi tout le reste. Les cylindres posés, on met les entretoises, dont les cornières d'assemblage avec la chaudière ont été préalablement posées par le chaudronnier, et ont servi à déterminer l'axe horizontal du mouvement pour les cylindres. La pose des entretoises ne peut s'effectuer qu'après celle des cylindres, parce que ce sont ces derniers qui donnent leur position exacte; car, bien qu'elles doivent être horizontales,

il faut, autant que possible, les faire couper en deux parties égales par le plan du mouvement, qui n'est connu qu'après la pose des cylindres. Les entretoises assemblées avec les cornières et fixées invariablement après la chaudière, on met les couvercles de devant des cylindres et on passe les pistons avec leurs tiges; on pose les guides non serrés, ainsi que les têtes, axes et glissoirs. Pour serrer les guides on met la tige du piston horizontale dans les deux positions extrêmes de la course de ce dernier, ce à quoi on parvient facilement, étant aidé, si l'on veut, par le chapeau du stuffing-box du couvercle.

Les guides serrés, on pose les supports des arbres des tiroirs, en ayant bien soin de placer l'axe perpendiculaire à celui du cylindre, et parallèle au plan du mouvement, deux conditions très-difficiles à remplir pratiquement, parce qu'il faut buriner et percer dans la fonte bien exactement. On arrive plus facilement au résultat en plaçant dans les supports l'arbre muni préalablement du levier du tiroir pour donner sa hauteur. Cela fait, on pose les tiroirs avec leurs tiges et douilles; la tige, comme nous avons dit dans l'article précédent, n'est pas coupée de longueur, c'est au montage seulement que cette opération a lieu, en mettant le levier et le tiroir chacun dans leur position milieu.

Les tiroirs posés, on soulève la chaudière pour passer les roues motrices avec leur essieu. Cette opération, qui est d'abord toute simple, se résume dans l'établissement de l'axe de l'essieu coudé dans le plan du mouvement, ce à quoi on parvient assez difficilement, malgré les lignes de repères dont on a sillonné les entretoises, la chaudière et l'essieu lui-même, parce qu'il faut d'abord placer cet essieu bien horizontal, puis soulever ou baisser petit à petit la chaudière horizontalement.

Quand ce travail est terminé, on procède au posage des excentriques et barres de ces dernières. C'est ici que l'on n'apporte jamais trop de soin; aussi dirons-nous, au risque d'être contredits, que ce ne sont pas les monteurs, quelque habiles qu'ils soient, qui doivent déterminer la position des excentriques et la longueur des barres, mais l'ingénieur même qui a fait le projet. En effet, il est déjà très-minutieux d'arriver à déterminer sur le papier, avec toutes les notions théoriques nécessaires, la position exacte des excentriques et la longueur de leurs barres; qu'est-ce donc quand

il faut faire cela dans l'espace? Le tâtonnement auquel se livrent les monteurs habituellement, n'a pour résultat que de leur faire perdre un temps qui coûte cher, sans donner de résultat satisfaisant.

Pour monter l'excentrique double, on commence par poser le levier double sur l'arbre du tiroir, en se conformant aux principes que nous avons émis dans la deuxième partie, c'est-à-dire en plaçant les boutons aux points de contact des tangentes à leur arc de rotation menées par le centre de l'essieu coudé, ce à quoi on arrive au moyen d'une planche sur laquelle est tracée une ligne droite portant à ses extrémités deux échancrures dans lesquelles entrent, d'une part, l'essieu, de l'autre le bouton du levier. Le tiroir se trouve alors dans sa position milieu; on pose l'excentrique, non à demeure, mais simplement serré, de manière que la ligne passant par les centres soit perpendiculaire à la tangente que l'on vient de mener, ce à quoi on parvient en coupant l'échancrure de l'essieu d'équerre avec la ligne tangente par une ligne passant par le centre. L'excentrique ainsi posé, on y adapte son cercle et la barre avec crochet prenant dans l'un des boutons non dérangé; on détermine exactement la longueur de la barre, l'assemble au cercle, et alors on procède au posage réel de l'excentrique, en faisant passer l'échancrure de la planche correspondant aux boutons, au centre de l'arbre du tiroir, ce qui fait décrire un petit angle à la ligne perpendiculaire dans l'échancrure de l'essieu et indique précisément l'angle dont l'excentrique doit aussi avancer. Pendant toute cette opération, la manivelle de l'essieu a été conservée rigoureusement horizontale.

Comme on le voit, l'opération est simple, si on la conçoit; aussi pensons-nous qu'il ne sera pas toujours interdit aux monteurs de la pratiquer; mais avant cela, il faut la leur enseigner, parce qu'ils n'ont pas le temps de la chercher seuls, et par cela même s'en dispensent.

Les excentriques posés, on place les pompes et les chapelles des clapets. On place ensuite l'arbre du mouvement des excentriques ainsi que les supports quand ils doivent pendre après la chaudière. Ensuite viennent les petites roues et leurs essieux, qui sont immédiatement suivies du châssis que l'on pose par parties pour la facilité du passage sous les attaches qui servent à fixer la chaudière dessus. Après le châssis viennent les ressorts, pour lesquels on prend les

précautions que nous avons indiquées dans l'article précédent, les appareils de sûreté, et enfin tous les accessoires qui ne constituent plus qu'un travail ordinaire mais fort long.

Un bon monteur, secondé d'un aide pour forage et burinage, et 2 manœuvres pour le transport, soulèvement et nettoyage des pièces, peut monter une locomotive pour largeur de voie $1^m,50$ en deux mois, dans un atelier où on ne construit que de cela, et où il n'y a pas à attendre après les pièces.

Deux mois, à raison de 25 jours par mois, font 50 jours ou :

	jours.		fr.		fr.
Monteur.	50	×	10	=	500
Aide-monteur. .	50	×	3.50	=	175.0
2 Manœuvres. . . .	100	×	2	=	200
					875 fr.

Si nous ajoutons 125 fr. pour les faux frais divers du montage et l'usé des petits outils, nous aurons un total de 1,000 f., non compris les frais généraux qui ont été portés sur le prix de revient des pièces fabriquées.

Pour largeur de voie $1^m,75$, on peut augmenter ces frais de 500 fr., parce que non-seulement le temps est plus long, mais le nombre des manœuvres est plus grand. A 2 mètres encore 500 fr., ce qui fait :

	Largeur de voie.		
	m. 1.50	m. 1.75	m. 2.0
	fr.	fr.	fr.
Prix de revient du montage .	1000	1500	2000
Prix de vente du montage. .	1100	1650	2200

Nous avons trouvé plus haut pour prix de vente de machines non montées :

fr.	fr.	fr.
40446	55217	72043

Nous avons donc pour prix de vente réel des machines :

fr.	fr.	fr.
41546	56867	74243

et en nombres ronds au minimum :

fr.	fr.	fr.
41000	56000	74000

FIN.

ARTICLES DIVERS.

ÉTABLISSEMENT D'UNE USINE DE HAUTS-FOURNEAUX.

CHAPITRE PREMIER.

DU CHOIX DE LA LOCALITÉ, EMPLACEMENT ET TERRAIN.

Le traitement des minerais de fer pour obtenir de la fonte, autrement dit l'exploitation des hauts-fourneaux, est une des industries où la question des transports passe en première ligne, c'est-à-dire avant la main-d'œuvre, l'emplacement et les débouchés probables.

Dans une usine de hauts-fourneaux, on consomme du *minerai*, du *coke* et des *fondants*, et on produit de la *fonte*. Si nous divisons les fontes en fontes grises et fontes blanches, nous avons en consommation moyenne, pour 1,000 k. produits :

1° *Fonte blanche* :		2° *Fonte grise* :	
3000 k.	minerai.	3000 k.	minerai.
1750	coke.	2250	coke.
1000	fondants.	1000	fondants.

Le coke peut arriver à l'usine, soit à l'état de coke, soit à l'état de houille. Comme 100 k. de houille carbonisée donnent 50 à 60 k. de coke, si nous comptons 55 k. en moyenne, il faut pour 1000 k. de fonte blanche, 3,200 k., et 1000 k. de fonte grise, 4,100 k. de houille.

Avant de passer outre sur ces nombres, nous dirons que, quelques résultats avantageux que l'on obtienne par la suite dans le traitement des minerais, on doit toujours baser ses calculs d'établissement sur ces données qui sont plutôt modérées qu'exagérées, en ce qu'elles correspondent à un traitement de minerais moyens.

Dans le cas où le coke se prépare à l'usine, la matière qui coûte le plus de transport est le combustible, en n'ayant égard seulement qu'au poids. Or, jusqu'à présent, sauf quelques localités, où les transports se font par chemins de fer de la mine à l'usine, on a toujours préféré fabriquer le coke soi-même que de l'acheter tout fait, non-seulement parce que le coke qui a voyagé est ou mouillé, et par conséquent friable si c'est par eau, ou cassé en une foule de morceaux impropres au service des hauts-fourneaux, si c'est par terre; mais encore parce que sa qualité est très-variable, suivant la manière dont il a été préparé. Comme cette matière se vend au poids, le fabricant de coke a avantage à pousser la carbonisation le moins loin possible; de là discussions, et force au propriétaire des hauts-fourneaux de céder, s'il ne veut pas voir l'alimentation de ces derniers interrompue. Aussi n'y a-t-il que dans le cas où le nombre des fabricants de coke est assez grand, comme à Saint-Étienne, et le transport exécutable par chemins de fer, ce qui donne le moins de déchets possible, que l'on peut compter sur l'achat du coke tout préparé, pour une usine de hauts-fourneaux.

Il résulte de là que l'on peut considérer comme général le cas où le coke se prépare à l'usine même, et alors on a en moyenne, en réunissant les deux circonstances de fonte blanche ou fonte grise en une seule :

1000 k. fonte exigent	4000 k.	houille,
	3000	minerai.
	1000	fondants.

Les transports peuvent s'effectuer :

1° Par mer,
2° Par rivières,
3° Par canaux,
4° Par chemins de fer,
5° Par routes ordinaires.

Ces cinq cas peuvent se présenter un à un, deux à deux, trois à trois, quatre à quatre, et même cinq à cinq pour les diverses matières que l'on a à transporter. Lorsque plusieurs localités conviennent pour l'emplacement de l'usine, sous les divers rapports que nous énumérerons plus loin, on doit les soumettre au calcul comparatif suivant :

MATIÈRES.	PRIX DES TRANSPORTS				
	Par mer.	Par rivières.	Par canaux.	Par chemins de fer.	Par routes ordinaires.
Minerais. . . M.	a	b	c	d	e
Fondants. . . f.	a'	b'	c'	d'	e'
Houille. . . . H.	a''	b''	c''	d''	e''
Fonte. . . . F.	a'''	b'''	c'''	d'''	e'''

$$M(a+b+c+d+e)+f(a'+b'+c'+d'+e')+H(a''+b''+c''+d''+e'')+F(a'''+b'''+c'''+d'''+e''') = \text{minimum}.$$

Equation générale dans laquelle on pose égaux à 0, les transports qui n'ont pas lieu.

Bien que les prix des transports soient variables, suivant les localités, on peut admettre en moyenne qu'ils sont dans les rapports suivants, tous frais payés :

Par mer.	1
Par rivières.	3
Par canaux.	4
Par chemins de fer.	6
Par routes ordinaires.	12

En outre les prix relatifs de transports des matières sont :

Pour le minerai et le fondant.	1.0
la houille.	1.5
la fonte.	2.0

De là le tableau suivant :

Prix relatifs des transports.

MATIÈRES.	Mer.	Rivières	Canaux.	Chemins de fer.	Routes ordinaires.
Minerai et fondants.	1.0	3.0	4.0	6.0	12.0
Houille.	1.5	4.5	6.0	9.0	18.0
Fonte.	2.0	6.0	8.0	12.0	24.0

Les diverses conditions locales auxquelles on doit, autant que possible, chercher à satisfaire pour l'établissement d'une usine de hauts-fourneaux, sont les suivantes :

1° Etre adossé à une montagne dont la hauteur soit au moins égale à celle des hauts-fourneaux, donnant peu de déblais et de remblais à effectuer pour l'emplacement de ces derniers.

2° Avoir de l'eau à proximité de l'usine, et pouvant arriver sans de trop grands frais à la pompe de la machine à vapeur.

3° Avoir un sol de la fonderie assez élevé dans la vallée pour ne pas craindre les inondations jusqu'à trois mètres au-dessous de la sole des creusets.

4° Etre sur un terrain assez solide pour ne pas nécessiter de grandes fondations; pour cela éviter, autant que possible, les fondations dans l'argile.

5° Les matériaux spéciaux pour la construction des usines étant :

1° La pierre calcaire. . . . . . . { Taillée ou moellonnée.

2° La brique. . . . . { Tendre et réfractaire.

3° La chaux. . . . . { Aérienne et hydraulique.

4° Le sable.

Rechercher, pour faire les déblais, les portions de montagnes où se rencontrent plus particulièrement ces substances, moins l'argile qui ne s'y trouve du reste que rarement et en couches minces ; et se rapprocher de la portion de la vallée où se trouve l'argile, condition qui se remplit assez naturellement quand les eaux se trouvent en bas.

5º Préférer l'exposition du midi à celle du nord, pour faciliter le séchage des maçonneries et pouvoir les pousser plus avant pendant l'hiver.

Comme on le voit, le choix de l'emplacement et celui du terrain d'une usine de hauts-fourneaux n'est pas chose si facile qu'on pourrait le croire au premier abord, et leur importance est telle à notre avis, qu'il nous paraît superflu d'avoir égard au prix d'achat du terrain quand ce dernier convient, considération que mettent généralement en première ligne les personnes peu au fait de cette industrie, et dont les conséquences sont si graves par la suite.

Nous avons gardé le silence sur l'avantage que présente le voisinage de nombreuses voies de communication, cette partie rentrant dans la question des transports. Nous avons aussi passé outre sur les moyens de procurer les vivres à bon marché aux ouvriers, ce qui nécessite le voisinage des villages, parce que cette question est tout-à-fait secondaire, de sorte que c'est un avantage de plus quand le cas se présente, mais il ne doit faire négliger aucun des autres susmentionnés.

CHAPITRE II.

ORGANISATION DU TRAVAIL POUR LA CONSTRUCTION DE L'USINE.

Soit proposé d'établir une usine de deux hauts-fourneaux au coke, pouvant produire chacun 7,500 k. de fonte grise par jour, soufflés à l'air froid avec des minerais moyennement réfractaires et des cokes moyennement durs.

Ce cas, qui est celui le plus général, se résout ainsi :

Un haut-fourneau donnant 7,500 k. de fonte par jour, a une hauteur de 15 mètres et une largeur quarrée à sa base, de 12 mètres environ. Le nombre convenable de maçons que l'on doit mettre par fourneau pour faire le massif extérieur est de deux par pilier d'embrasure : un de première classe pour faire le parement extérieur ; un de seconde classe pour faire les remplissages intérieurs. Deux maçons par pilier d'embrasure font huit maçons par masse, consommant en moyenne par jour chacun 750 briques de $0^m,20$ de long sur $0^m,10$ de large, et $0^m,075$ d'épaisseur, correspondant par conséquent à 6,000 briques par jour et par masse. On monte en moyenne de $0^m,20$ par jour, il en résulte que la durée de la construction extérieure est de $\frac{15}{0,2} = 75$ jours ou 3 mois, et la consommation en briques ordinaires $6000 \times 75 = 450,000$ pour une seule masse.

Plus tôt on aura fini les constructions extérieures, plus tôt on pourra commencer celles intérieures, plus le fourneau aura le temps de se sécher à la chaleur naturelle de la saison avant l'hiver. Or, il n'est guère possible de commencer avec sûreté des constructions importantes avant le premier avril ; il suit de là que les maçonneries extérieures pourront être terminées au premier juillet ; comme il faut trois mois pour la pose de la chemise intérieure, des étalages et du creuset, on aura fini le premier octobre.

Pour commencer la construction des masses le premier avril, il faut avoir des briques de l'année précédente ; car précisément la fabrication de ces matériaux n'a lieu économiquement que pendant les six mêmes mois d'été que l'on consacre aux constructions en général.

Quelque promptitude qu'apportent les briquetiers dans leur travail, il ne faut pas compter pouvoir disposer d'une meule de briques de l'année courante avant le quinze mai; les maçons devront donc être alimentés pendant quarante jours par des briques de l'année précédente. 40 jours à 6,000 briques font 240,000 briques par masse que l'on devra avoir d'avance. Outre ces 240,000 briques pour chaque masse, il en faut encore pour les cheminées des maisons d'habitation que l'on construit en même temps, et les fours à coke. En évaluant à 60,000 l'approvisionnement nécessaire pour les maçons en pierre, nous aurons suffisamment. Pour les fours à coke nous dirons: chaque haut-fourneau correspond à 18 fours à coke que l'on peut réunir tous ensemble ou grouper 6 par 6. Dans ce second cas, comme dans le premier, on compte qu'il faut 100,000 briques par groupe, et que la durée de la construction d'un groupe est de 40 jours. Comme il y a six mois pour construire les 18 fours à coke d'un fourneau, il sera suffisant de n'en construire qu'un groupe pendant les 40 premiers jours, et l'approvisionnement en briques pour les fours à coke sera de 100,000 par masse.

Récapitulant, nous trouvons que l'approvisionnement en briques ordinaires est :

1°	Pour les deux masses.	480,000
2°	fours à coke.	200,000
3°	divers. . . .	60,000
	Total.	740,000 briques.

Puisqu'il faut six semaines ou quarante jours au moins pour faire une meule de briques prêtes à employer, quelque petite que soit la meule, et que pendant six semaines il se consomme 740,000 briques, ce qui correspond à 440,000 par mois environ, il faudra un nombre de tables de briquetiers susceptible d'arriver à ce chiffre. Or, une table de briquetier peut fournir en moyenne par mois 40,000 briques; $\frac{440000}{40000} = 11$ tables. Comme l'approvisionnement est de 740,000 briques, les briquetiers devront entrer en besogne $\frac{740000}{440000} =$ deux mois environ

avant la fin de la saison de l'année précédente, c'est-à-dire le premier août. Ajoutant un mois pour l'extraction de la terre à briques, qui est d'autant meilleure qu'elle a été tirée plus tôt, quelle que soit l'époque à laquelle les hauts-fourneaux auront été votés, les travaux ne commenceront réellement que le premier juillet; tout le temps avant cette époque aura dû être consacré à la recherche d'un emplacement et d'un terrain convenables.

On pourrait objecter qu'en s'y prenant plus tôt, on pourra faire les constructions accessoires et être plus en mesure d'avoir fini l'année suivante. Nous répondrons à cela que cette circonstance ne doit avoir lieu que si les ouvriers sont rares, et sont les mêmes pour les constructions en pierres que pour les constructions en briques; dans tous les autres cas, il est inutile de commencer les travaux de maçonnerie ou de terrassement avant le 1er août.

Cela posé, pendant que, d'une part, les briquetiers fabriquent pour l'année suivante, on trace sur le terrain la disposition de l'usine et on met les terrassiers. Jusqu'au 15 septembre, ces derniers sont assez difficiles à trouver, parce qu'ils constituent en général des manœuvres que l'on emploie en agriculture à faire la moisson; mais à partir de cette époque, on peut en avoir autant que l'on veut.

Comme les travaux de terrassement sont très-variables, et qu'il est très-incommode de démontrer quelquefois à cent ouvriers séparément la besogne qu'ils ont à faire, il est utile de les diviser en chantiers de quatre hommes :

2 pelleurs et brouetteurs alternativement.
2 terrassiers, dont 1 chef.

Le chef gagnant seulement deux sous de plus que les autres par jour. Chaque chantier a deux pioches, deux pelles et deux brouettes dont il répond, et toutes les fois que les relais dépassent 10, 15 ou 20 mètres, suivant le terrain, on lui adjoint un nombre suffisant de brouetteurs formant une classe à part à l'usage de tous les chantiers. Quand les transports se font à la voiture, ce qui a lieu toutes les fois que les relais un peu longs le permettent, les deux pelleurs et brouetteurs du chantier servent à charger avec le conducteur du cheval, qui a sa pelle. Dans un pays où les manœuvres se paient 1 fr. 75 c. pour 10 heures de travail, le tombereau coûte 5 fr., conducteur compris pour le même temps.

Il faut deux tombereaux, donc 10 fr. par jour correspondant à six hommes, c'est-à-dire cinq en sus du brouetteur du chantier.

Il est bon, toutes les fois qu'on le peut, de faire exécuter les terrassements à l'entreprise. Ce cas se présente le plus souvent pour l'extraction de la terre à briques, parce qu'alors le terrain est homogène. L'extraction de la terre à briques est le genre de terrassements le moins coûteux. Avec transport d'un relais, on paie à l'entreprise 0 fr. 75 c. le mètre cube, deux relais 1 fr., trois relais 1 fr. 25 c., etc. Ce travail se fait au louchet.

Pour un terrain ordinaire, comme terre végétale au-dessus du calcaire grossier suivi lui-même de calcaire dur, le mètre cube revient rarement à moins de 2 fr. à la journée, et souvent va jusqu'à 3 et 4 fr.

Quand on découvre la pierre en bancs réguliers, il faut alors avoir recours aux carriers, ouvriers qui abondent toujours dans les localités où la pierre existe à une petite profondeur.

Afin de rendre le travail des carriers moins coûteux, on leur fait extraire les pierres de taille sous le plus petit volume possible. A part le bâtiment de la machine à vapeur, qui exige, pour la fondation des cylindres, des pierres de 2 mètres sur 1^{m} et 0^{m},50 au moins, toutes les autres peuvent être de 1 mètre sur 0,75 et 0,50 dans leurs plus grandes dimensions; ce sont celles qui serviront pour les angles des masses. On se gardera bien de casser celles qui se trouvent sous un échantillon plus petit, parce qu'elles serviront pour les faces extérieures des voûtes et les fours à coke.

Les fondations des murs de clôture et des maisons d'habitation, en un mot des accessoires, terminées, on y placera les maçons en pierres qui pourront travailler suivant les localités et le prolongement de la saison, jusqu'au premier décembre, ayant soin d'employer de la chaux demi-hydraulique mélangée de cendrée. Par ce moyen, on aura un débouché facile pour les pierres extraites, des magasins sûrs pour ranger les outils, des bureaux pour les chefs, un abri pour les ouvriers pendant leurs repas, une écurie pour les chevaux, un atelier pour la fabrication des briques réfractaires; un idem pour les menuisiers et les charpentiers, un atelier pour les tailleurs de pierre, toutes les fois que la pluie ou la gelée les empêchera de travailler à l'ex-

traction, enfin une petite forge à main. L'hiver se passera en terrassements et préparations des travaux de l'été, c'est-à-dire confection des charpentes et menuiseries, ainsi que briques réfractaires, si toutefois on ne commande pas ces dernières hors de l'usine. Dans ce dernier cas, il faut compter que les chemises intérieures, les étalages et les creusets doivent être rendus à l'usine, prêts à être employés le premier juillet, c'est-à-dire le jour où les massifs extérieurs seront terminés. Il faut neuf mois au moins pour faire cette besogne et la livrer à l'époque commandée; la commande devra donc être faite neuf mois avant le premier juillet, c'est-à-dire le premier octobre de l'année précédente, époque où les briquetiers s'en vont. Au premier janvier suivant, seront commandées les ferrures et les fontes des masses, qui doivent être livrées à l'usine le premier avril. La soufflerie, qui se compose d'une machine de 100 chevaux ou deux machines de 50 chevaux chaque, n'exige pas moins de neuf mois pour sa construction et livraison, et six mois pour son montage. Comme il faut qu'elle soit prête à fonctionner le premier janvier après la construction des masses, elle devra être commandée le premier octobre, en même temps que les chemises intérieures des fourneaux.

Si l'hiver n'est pas rigoureux, on pourra se mettre en mesure, le premier mars, d'achever les maçonneries accessoires. Au premier avril, on commencera les constructions principales, tant en pierres qu'en briques, consistant en massifs de hauts-fourneaux, fours à coke, murs de soutènement, bâtiment de la machine à vapeur, appareil à air chaud, si on en met, aqueduc de la machine à vapeur, halles de préparation et de coulée, fours de grillage. Toutes ces constructions conduites avec célérité seront terminées le premier octobre.

Cette époque arrivée, on procédera au séchage des fourneaux et des fours à coke; on préparera bientôt du coke dans ces derniers, et le premier janvier on commencera le chauffage intérieur des hauts-fourneaux par le four à réverbère jusqu'au premier mars, où on injectera le coke du haut, et mettra en feu.

Comme on le voit, il est possible en deux ans de réaliser complètement la construction d'une usine de deux hauts-fourneaux donnant 15,000 kil. de fonte grise par 24 heures.

CHAPITRE III.

FRAIS D'ÉTABLISSEMENT D'UNE USINE DE 2 HAUTS-FOURNEAUX AU COKE, PRODUISANT 15,000 KILOG. FONTE GRISE PAR 24 HEURES.

1° *Emplacement et terrain.*

Quelque disposition que l'on adopte pour construire une usine de deux hauts-fourneaux de cette dimension, on ne peut compter moins d'un demi-hectare par fourneau.

Bien que les terrains en montagnes soient assez généralement de peu de valeur quand ils sont exploités par l'agriculture, ils augmentent considérablement quand on sait qu'ils peuvent être utiles à l'industrie; aussi pensons-nous qu'on ne doit pas supposer moindre de 20,000 fr. l'achat du terrain de l'usine.

2° *Terrassements.*

Les terrassements sont très-variables, suivant les localités; mais comme en général, quand ces derniers ne sont pas considérables, ils sont remplacés par d'autres travaux aussi coûteux, on peut les évaluer à six mois de travail à cent ouvriers payés à raison de 1 fr. 75 c. par jour, ce qui fait :

6 × 25 × 100 × 1.75 = 25,000 fr. en nombres ronds.

Il faut en outre :

60 brouettes,
40 pelles,
40 pioches,

qui, évaluées, à cause des réparations et changements qu'elles nécessitent :

Les brouettes à. . . .	10 fr.
Les pelles à.	5
Les pioches à.	10

font une dépense de :

Brouettes. . .	60 × 10 = 600f.	}	1200 fr.
Pelles.	40 × 5 = 200		
Pioches. . . .	40 × 10 = 400		

25000 + 1200 = 26200 fr., que nous porterons à 30,000 fr. avec les frais d'outils de carriers (réduction faite des pierres obtenues), de voituriers, etc.

3° *Maçonneries accessoires.*

Les maçonneries accessoires se composent de :

Murs de clôture,
Loges de portiers,
Logements d'ouvriers,
Ateliers divers,
Bureaux,
Logements d'employés.

Les murs de clôture d'un hectare de terrain, en supposant un côté fermé par un canal ou une rivière, constituent une longueur de 300 mètres avec trois ou quatre grandes portes qui peuvent être évaluées chacune à 10 mètres en sus. Les murs, y compris les fondations, ont 3 mètres de haut et $0^m,45$ d'épaisseur moyenne, parce qu'ils se composent de contreforts de 1 mètre sur $0^m,50$, espacés de 5 mètres en 5 mètres et reliés par un mur de $0^m,40$. On a donc : $340 \times 0.45 \times 3 = 460$ mètres cubes coûtant :

Pierre	460 m. c.	à 1 fr.	460
Mortier	46 m. c.	à 10 fr.	460
Main-d'œuvre :			
$340 \times 3 = 1020$ m. q.		à 1 fr.	1020 f.
		Total. . . .	1940 f. Net 2000 fr.

En supposant quatre loges de portiers, on peut exécuter à l'entreprise une loge complète de 5^m de côté intérieur, quarrée, et un étage avec grenier pour 1,000 fr. On aura donc : loges des portiers, 4,000 fr. Le bâtiment des ouvriers ne peut se composer de moins de 30 logements qui, évalués l'un dans l'autre à 800 fr., font un total de $30 \times 800 =$ 24,000.

Les ateliers divers se composent de :

1	forge de maréchalerie complète.	5,000 f.
1	atelier de menuisiers-modeleurs	2,000
1	hangar pour charpentiers, etc.	3,000
	Total. . . .	10,000

Le bâtiment des bureaux comprenant, autant que possible, les logements d'employés et les magasins, coûtera 30,000 fr.

On aura ainsi pour les maçonneries accessoires :

1° Murs de clôture	20,000 f.
2° Loges de portiers	4,000
3° Logements d'ouvriers	24,000
4° Ateliers divers.	10,000
5° Bureaux et logements	30,000
Total. . . .	88,000
Net	100,000 f.

4° *Maçonneries principales.*

Elles se composent de :

Les hauts-fourneaux,
Les fours à coke,
Les fours de grillage,
Les murs de soutènement,
Le bâtiment de la machine,
L'aqueduc de la machine,
La halle de préparation,
La halle de coulée.

1° *Hauts-fourneaux. — Main-d'œuvre.*

8 maçons par masse font :

4 maçons à 3 fr.	12 fr. par jour.
4 *id.* à 2.50	10
8 manœuvres à 1,75	14
Manœuvres de pierres de taille et renduisage.	10
	46 fr.

Net 50 par fourneaux et par jour.

75 jours pour faire le massif extérieur font 75 × 50.	3,750 f.
75 jours encore pour les fondations, les chemises intérieures, les creusets et les étalages. . .	3,750
Forgerons pendant 3 mois pour les ferrures.	300
Charpentiers pour les faux-cintres et les gabarits.	600
Total. . . .	8,400
Net 10,000 fr. par masse, et pour les deux.	20,000 f.

Matières premières.

6000 × 75 = 450,000 briques ordinaires par fourneau, à 12 fr. le 1000.	5,400 f.
Chemise intérieure en briques réfractaires, 100,000 kil. à 10 fr. les 100 kil.	10,000
Etalages, *id.* 20,000 kil. à 10 fr. les 100 kil.	2,000
Creuset en ponddings siliceux, 60,000 kil. ou 35 m. c. à 120 fr. bruts et 240 fr. taillé . .	8,400
Transport des 3 matières ci-dessus	3,000
Fers, 5,000 kil. à 50 fr. le 100	2,500
Fontes, 10,000 kil. à 30 fr. rendus	3,000
Total. . . .	34,300
Net 35,000 fr., et pour les deux . .	70,000

Donc : Main-d'œuvre	20,000
Matières premières	70,000
Total. . . .	90,000 f.
que l'on peut porter à	100,000

2e Fours à coke. — Main-d'œuvre.

Elle se fait à l'entreprise, à raison de 100 fr. par four ; il y a 18 fours par fourneau, c'est donc 1800 × 2 = 3600 francs pour tout.

Matières premières.

Chaque four consomme 15,000 briques ordinaires et 500 briques réfractaires, valant 5,000 ordinaires.

Donc 20000 briques à 12 fr. le 100	240 f.
Fers et fonte pour portes et défournement. . . .	500
Pour 1 four	740
et pour 36 . . . . 740 × 36 =	26600 f.
Net. . : : : : :	30000 fr.

3e Fours de grillage.

Deux fours de grillage à 500 fr. l'un, 1,000 francs.

Il y a le grand mur de soutènement derrière les masses, renfermant les régulateurs du vent quand les machines sont en haut, et un escalier. Comme les régulateurs coûtent à

peu près le même prix, soit en tôle, soit en maçonnerie, nous les évaluerons comme s'ils étaient compris dans le mur de soutènement. Ce mur, qui n'a pas moins de 60 mètres de long, 15 mètres de haut, 3 mètres d'épaisseur à la base, fait un volume, avec les régulateurs, d'environ 3,000 m. c. coûtant :

Pierre.	3000 m. c.	à 1 f.»	3000 f.
Mortier.	300 *id.*	à 10. »	3000
Main-d'œuvre.	3000 m. c.	à 1.50.	4500
		Total. . . .	10500 f.

Evaluant au même prix le mur de soutènement régnant tout autour des fours à coke, plus le mur de soutènement du second étage, des fours de grillage et du parc à mine, nous aurons un total de 20,000 fr. net.

4° *Bâtiment de la machine.*

Le bâtiment de la machine avec la machine de 50 chevaux montée, les chaudières en place, l'aqueduc construit, le tout prêt à fonctionner pour un haut-fourneau, coûtent 75,000 fr.; on aura donc pour les deux fourneaux, 150,000 fr.

5° *Halles de préparation et de coulée.*

On peut les évaluer ensemble à 50,000 fr. à cause des toitures qui sont toujours assez grandes.

On a donc pour frais de constructions spéciales :

Hauts-fourneaux.	100,000 f.
Fours à coke.	30,000
Fours de grillage.	1,000
Murs de soutènement	20,000
Machines	150,000
Halles	50,000
Total. . . .	351,000
Net.	350,000 f.

V° *Fonds de roulement.*

Il se consomme par jour 60,000 kil. de houille, 45,000 kil. de minerai et 15,000 kil. de castine ; il se produit pour cela 15,000 kil. de fonte.

Sans entrer pour le moment dans les détails de la main-

d'œuvre et des prix de revient des matières premières, nous dirons que la valeur moyenne de la fonte sortant de l'usine est de 200 fr. les 1000 kil., et que les paiements se font de trois à six mois de date. Bien que l'usine jouisse de la même latitude quant aux matières premières, il est toujours bon que son fonds de roulement puisse faire face au moins à la moitié de ses dépenses. En admettant que le bénéfice brut soit de 20 p. 100, pour trois mois de produit, il y a une dépense faite égale à $3 \times 30 \times 15 \times 180$ fr. = 250,000 francs.

Le fond de roulement devra donc être au minimum de 125,000 francs.

On aura alors pour capital social minimum :

1° Acquisition du terrain de l'usine.	20,000 f.
2° Terrassement.	30,000
3° Maçonneries accessoires	100,000
4° Maçonneries principales.	350,000
5° Fonds de roulement	125,000
Total. . . .	625,000

625,000 fr. — 125,000 fr. = 500,000 fr., frais d'établissement de l'usine. Ajoutant $^1/_{10}$ de cette somme pour les frais d'ingénieur, gérant, directeur, employés, voyages, bureaux, etc., nous aurons un total net de 700,000 fr.

Il existe des usines qui exploitent elles-mêmes, soit la houille, soit le minerai, et même ces deux matières à la fois; dans ces trois cas, le capital social est considérablement augmenté. Il n'est pas possible de définir sa valeur pour ce qui est relatif à la houille, mais pour le minerai seul, on peut dire qu'il faut compter sur un million.

CHAPITRE IV.

DISPOSITION D'UNE USINE DE DEUX HAUTS-FOURNEAUX A COKE, DONNANT 15,000 KILOG. DE FONTE PAR 24 HEURES.

Les fig. 1 et 2, Pl. XIV, représentent la disposition que nous regardons comme celle vers laquelle on doit se rapprocher autant que possible dans l'établissement d'une usine de hauts-fourneaux, industrie où tous les frais de main-d'œuvre intérieure constituent des transports de matières premières et de produits fabriqués.

Telle que nous l'avons figurée, l'usine se compose d'un terrain rectangulaire d'environ 80 mètres de large sur 150 de long, dans le sens de la coulée des fourneaux, possédant quatre étages principaux :

1° Le sol de la fonderie, à 3 mètres au-dessus des plus hautes eaux ;

2° La plate-forme des gueulards, à 15 mètres au-dessus du sol de la fonderie ;

3° Le plateau des fours à coke, à 3 mètres au-dessus de la plate-forme des gueulards ;

4° Les routes d'arrivée des matières premières ont deux mètres au-dessus du plateau des fours à coke, et par conséquent 5 mètres au-dessus de la plate-forme des gueulards.

Le sens longitudinal de l'usine se trouve transversal à la montagne que longe la vallée, de manière que, d'une part, les déblais soient les moindres possibles pour faire la cour de la fonderie, et que de l'autre on puisse utiliser le vide à faire un crassier pour les hauts-fourneaux et les fours à coke.

Les matières premières et les produits peuvent arriver ou s'en aller, suivant la localité, soit par un canal ou une rivière coulant au bas de l'usine, auquel cas on construit en dehors un plan incliné A, servant à monter les matières premières par une machine à vapeur, soit par une route située en haut, auquel cas les produits sont remontés sur une route inclinée ordinaire.

Le plan ne représente qu'une moitié de l'usine coupée longitudinalement ; cela vient de ce que les deux parties sont

symétriques et peuvent à volonté se construire alternativement ou ensemble, ce qui est un avantage quand on ne veut exposer que peu de fonds en commençant.

Description des différentes parties.

A, plan incliné pour monter les matières premières et les crasses des hauts-fourneaux, quand les transports extérieurs se font par en bas.
B, haut-fourneau.
C, halle de coulée.
D, halle de préparation au-dessus du régulateur à vent.
E, bâtiment de la machine à vapeur.
F, chaudières à vapeur.
G, fours de grillage du minerai en roche.
H, parc à mine en terre, en grain, en roche grillée, et castine.
I, dépôt de la mine en roche non grillée.
J, 18 fours à coke.
K, chemin de ronde pour les voitures.
L, dépôt de la houille à carboniser.
M, dépôt du coke.
N, manège pour le défournement.
O, chemins de fer pour le service des gueulards, du crassier et de la fonderie.
P, crassier.
Q, loges de portier.
R, logements d'ouvriers.
S, administration, logements d'employés et magasins.
T, escalier.
U, canal.
V, route.
X, aqueduc des machines à vapeur.

Notre disposition présente plusieurs particularités que nous allons expliquer :

1° Les hauts-fourneaux sont à courbure verticale des faces extérieures.

2° Les chaudières sont chauffées par la flamme perdue des gueulards.

3° Les fours à coke forment la circonférence autour du manège.

1° *Hauts-fourneaux.*

Les fig. 3, 4 et 5 (Planche XIV) représentent un détail du haut-fourneau sur une plus grande échelle.

La courbure verticale a pour but de remplacer la courbure horizontale des faces extérieures, inventée par M. Communeau.

Par suite de la dilatation qui se produit forcément avec la température dans les hauts-fourneaux, et tend sans cesse à agrandir leurs dimensions en écartant les briques dont ils se composent, on est dans l'usage de les garnir d'armatures en fer et fonte ou tirants en fer, espacés de 0m.50 les uns des autres et croisés, traversant de part en part la chemise extérieure, et venant serrer à clavettes contre les faces extérieures des plaques de fonte qu'ils traversent aussi. Ce procédé, bien que satisfaisant sous plusieurs rapports, est loin d'empêcher complètement les faces extérieures de travailler et de fendre, inconvénient qui, en peu de temps, donne aux hauts-fourneaux un aspect de vétusté défavorable, et rend leur durée d'ailleurs assez limitée par rapport à l'argent qu'ils coûtent.

Pour rendre plus efficace l'effet des armatures, M. Communeau a imaginé de reporter toute la poussée des faces sur les quatre angles, en remplaçant le cordeau du maçon par un gabarit courbe. Il résulte de cette ingénieuse disposition que, si les tirants sont suffisamment résistants, le fourneau ne bougera pas; c'est en effet ce qui arrive. Mais malheureusement, il n'est pas aussi facile de faire une construction régulière avec cette disposition, que de la représenter sur le papier; elle coûte cher, fait perdre de la place dans le haut, et rend la construction beaucoup plus difficile. Les faces du fourneau étant inclinées, elles devront représenter soit une surface conique de révolution à axe vertical, soit une surface cylindrique aussi de révolution à axe incliné. Pour exécuter la première, il faudrait un mât placé invariablement, ce qui est impossible à cause du vent, devant chaque face, et un rayon en bois de longueur variable et montant horizontalement. Pour exécuter la seconde, il faut un gabarit en bois que l'on ne peut poser directement sur les briques, parce qu'il y a les pierres de coin qui en empêchent, qu'on ne peut non plus présenter en dehors, parce que les pierres ont saillie sur les briques de la différence qu'il y a entre un

arc de cercle et sa corde. On a bien proposé de tailler les pierres de coin en arcs de cercles, mais alors, non-seulement on dépense de l'argent inutilement, mais on réduit de beaucoup leur résistance en aiguisant un angle droit.

Enfin, admettant que les intersections des cylindres pourront être des lignes droites, ce qui n'est pas; admettant en outre que l'on peut exécuter ces surfaces tant bien que mal, quand on commence à partir du sol, nous dirons qu'il est de toute impossibilité d'y songer quand on donne au fourneau, comme dans certains cas, un socle droit montant jusqu'à la hauteur des étalages, et nécessitant une corniche en pierres avant de passer aux faces inclinées; car alors, outre la saillie de 1 mètre que doit avoir la corniche à découvert en dessus et en dehors des faces en talus, il faut encore 0m.60 au moins de long, pour recouvrir l'espace laissé par la courbure de la face.

Pour remédier aux divers inconvénients, plutôt pécuniaires qu'autres, de la courbure horizontale des faces, nous pensons que ce qu'il y aurait de mieux serait de faire les faces courbes verticalement. Dans ce cas, la courbe se composerait de 8 lignes droites de 2 mètres chacune, excepté la dernière de 1 mètre; inclinées différemment, de manière à se rapprocher le plus possible de l'arc de cercle tangent à la verticale, ne changeant en rien le mode de travail des ouvriers, et n'exigeant, en fait de travail extraordinaire, que le renouvellement de la règle de talus des pierres de taille, tous les deux mètres. Or, cette règle n'est autre qu'une planche rabotée et sciée, sans valeur.

La courbure verticale présente l'avantage de reporter toute la poussée sur deux points seulement : la base et le sommet du fourneau; il n'est donc pas utile de munir le corps d'armatures. Pour ce qui est de la base, le poids énorme qu'elle a à supporter est suffisant pour garantir qu'elle ne prendra aucun mouvement; mais pour le sommet, il en est tout différemment : le redressement des faces courbes tend à soulever le fourneau, et ce soulèvement est d'autant plus considérable qu'il est moins chargé dans le haut; d'autre part, la partie supérieure ne tarderait pas à tomber par suite du mouvement que lui communique le soulèvement de la masse, si on ne la maintenait en place par des armatures; il est donc indispensable d'entourer tout le sommet sur une hauteur de 1 mètre environ de cadres en fer

soit d'un seul morceau, soit de quatre barres plates assemblées à boulons et écrous. Dans ce cas, la rupture des armatures n'est plus à craindre comme précédemment, parce que la poussée n'est pas supportée par elles.

Nous avons figuré en dessous du fourneau une cavité dans laquelle est un foyer destiné à opérer le séchage général de la manière suivante :

Le foyer est recouvert d'une voûte en briques réfractaires, percée de trous d'espace en espace, et servant à la dessiccation complète de la sole du creuset ; puis transversalement se trouve une voûte allant aboutir par des canaux horizontaux aux quatre cheminées placées aux angles de la masse. De cette manière, on n'a qu'un seul foyer pour sécher toute la masse entière, et on fait une économie de moitié environ dans la dépense en combustible sur la méthode des cinq foyers séparés. Cette disposition n'est pas de nous ; elle existe dans les fourneaux de la Belgique, et notamment près de Liège, où nous avons eu occasion de l'observer.

2° *Chauffage des chaudières par la flamme perdue des gueulards.*

Le chauffage des chaudières par la flamme perdue des gueulards a pour but d'utiliser non-seulement la chaleur emportée par les gaz qui se dégagent du fourneau, mais encore la chaleur que leur combustion est susceptible de procurer, ces gaz étant en majeure partie de l'oxide de carbone et de l'hydrogène carboné.

Pour arriver à ce résultat, on a employé plusieurs procédés :

1° On a placé les chaudières à vapeur près du gueulard même ;

2° On a reçu les gaz dans un conduit allant jusqu'aux chaudières placées soit au même niveau que les gueulards, mais sur la plate-forme, en dehors des fourneaux, soit au bas du fourneau dans la cour de la fonderie.

Le premier procédé, qui a été l'objet d'un brevet d'invention, présente comme principal inconvénient, d'exiger une maçonnerie exprès pour poser les chaudières, la largeur de la voûte de communication entre la halle de préparation et le haut-fourneau n'étant que juste ce qu'il faut pour faire

le service du gueulard. Dans le cas de deux hauts-fourneaux, on a fait une voûte d'arête et on a placé les chaudières au milieu de cette voûte; de cette manière le service des gueulards se fait de chaque côté; mais qui peut répondre des conséquences d'une pareille disposition, avec des maçonneries mobiles comme celles des hauts-fourneaux.

Le second procédé, qui a été aussi l'objet d'un brevet d'invention, nous semble fort raisonnable quand il s'agit de conduire les gaz horizontalement aux chaudières placées de manière à ne pas gêner le service; mais en revanche, il nous paraît tant soit peu mauvais quand il s'agit de les faire redescendre, si la disposition de la localité ne l'exige pas, parce qu'il nécessite d'abord une acquisition assez dispendieuse de tuyaux, puis parce qu'il ralentit, quoi qu'on fasse, le tirage des fourneaux.

La disposition que nous offrons nous a été suggérée par la nécessité dans laquelle nous sommes de charger les fourneaux à courbure verticale pour les empêcher de se soulever. Nous sommes loin de la prétendre meilleure que les précédentes, et même nous considérons son exécution comme un peu hardie; mais nous pensons néanmoins qu'elle peut être tentée sans danger; l'avantage qu'elle présente de ne diminuer en rien le tirage, de permettre le chargement aussi facile que quand la cheminée est libre, de ne gêner en rien le service des gueulards, en vaut bien la peine.

Elle consiste en une voûte régnant sur toute la longueur de la halle de préparation et maintenue par des linteaux en fer espacés de 1 mètre au plus les uns des autres, sur laquelle se construisent les fourneaux des chaudières par la méthode ordinaire; afin d'éviter les mouvements dans ces derniers, on peut les garnir d'armatures. Les trous *a a* placés de chaque côté, en bas du canal d'arrivée du gaz sous les bouilleurs, sont destinés à l'introduction de l'air qui doit brûler ces derniers, et à l'éjection de l'eau au dehors, dans le cas où une chaudière viendrait à fuir.

3° *Fours à coke en cirque.*

Il existe à l'usine du Creusot un procédé de défournement des fours à coke, qu'on ne saurait trop recommander tant par l'économie qu'il apporte dans la main-d'œuvre, que par l'amélioration qu'il a introduite dans l'état sanitaire des ou-

vriers chargés de cette opération. Ce procédé consiste dans l'emploi d'un râteau en fer communiquant par des tirants à une chaîne qui s'enroule sur un treuil mû par un cheval, pour l'extraction du coke hors des fours. Cette opération, qui se fait ordinairement à bras d'hommes, au moyen de fourches recourbées en fer, est excessivement pénible et malsaine, en ce que les hommes sont exposés à la chaleur rayonnante directe du combustible qui tombe à leurs pieds, et respirent pendant un temps assez long les gaz carbonés qui s'en dégagent. Par le procédé du Creusot, les ouvriers n'approchent du combustible qu'au moment de jeter de l'eau dessus pour l'éteindre et entraîner à l'état d'hydrogène sulfuré la presque totalité du soufre qu'il contient encore. Voici du reste comment le défournement s'effectue :

Un cheval est attelé au râteau (fig. 6) qu'il traîne derrière le four au-dessous de la porte B (fig. 7). Un ouvrier placé sur le four à l'endroit du cric C, dont l'extrémité C′ s'assemble à charnière avec la porte en fonte B, par un goujon mobile, soulève cette porte ainsi que celle de devant ; deux autres munis de bâtons soulèvent le râteau qu'ils ont soin de ne pas toucher parce qu'il est chaud, et le placent debout au-dessous de la porte; ensuite, les mains garnies de feutre ils prennent des tirants en fer, pointus, préparés au-dessus du four, et les passent par les trois trous *a*, *b*, *c* du râteau et à travers le combustible, opération qui nécessite une certaine habitude: cela fait, ils passent trois clavettes. L'ouvrier placé sur le devant passe des clavettes dans les extrémités antérieures des tirants, et les prend dans trois agrafes correspondant à une chaîne qui, au moyen d'une poulie de renvoi, va s'enrouler sur un treuil mû par un cheval que conduit un cinquième ouvrier. Le coke dehors, l'ouvrier de dessus les fours ferme la porte de devant; ceux de derrière chargent le four; celui du devant jette sur le coke de l'eau qu'il a dans un tonneau monté sur des roues près de lui, et le cinquième amène le cheval pour prendre le râteau. Le coke éteint, on défait les clavettes, repasse les tirants en dessus des fours, et ainsi de suite. La carbonisation revient ainsi à 1 fr. 50 c. les 1,000 kil.

C'est le procédé du Creusot que nous avons représenté fig. 7 et 8, Pl. XIV, avec cette légère modification, qu'au lieu d'avoir les fours sur une seule ligne droite, nécessitant le transport de la poulie de renvoi de four en four, nous les

avons mis sur une circonférence au centre de laquelle est le manége opérant la traction directement. Devant chaque four est un petit couloir allant au manége et dans lequel est un tirant en fer, ce qui permet d'opérer le dépôt du coke tout autour du manége, sans craindre que cela ne gêne le défournement. En *o*, *o*, fig. 2, sont deux plans automoteurs qui font, sans main-d'œuvre aucune, les transports du coke aux fourneaux et des cendres au crassier. Notre disposition présente, relativement à celle du Creusot, l'inconvénient d'occuper un espace de $^1/_{10}$ plus grand que celui nécessaire pour cette dernière. Un four à coke du Creusot occupe 90 m. q. tout compris; un des nôtres occupe 100 mètres quarrés.

CHAPITRE V.

DIVERS TABLEAUX RELATIFS A LA DÉTERMINATION DES DIMENSIONS DES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN HAUT-FOURNEAU, AINSI QUE DES CONSOMMATIONS POUR DIFFÉRENTES NATURES DE MINERAIS ET DE COMBUSTIBLES.

Nous croyons devoir garder le silence sur tout ce qui est relatif au travail et à l'organisation intérieure d'une usine de hauts-fourneaux en roulement complet, l'excellent ouvrage de M. Walter-de-St-Ange étant infiniment plus à même que nous d'éclairer sur ce sujet les personnes qu'il intéresse; aussi n'ajouterons-nous, comme complément de nos articles, que les tableaux suivants composés tant d'après les données de l'ouvrage précité, que d'après ce que nous avons eu occasion d'observer nous même.

1° **TABLEAU** indiquant les diamètres au ventre des fourneaux pour différentes productions de fonte par 24 heures, et différentes natures de minerais, à l'air froid et au coke, en roulement modéré.

Production en fonte par 24 heures.	NATURE DES MINERAIS. Réfractaires.	Moyennement réfractaires.	Moyens.	Moyennement fusibles.	Fusibles.
kil.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
500	1.25	1.20	1.15	1.10	1.05
1000	1.72	1.66	1.60	1.54	1.48
1500	2.09	2.02	1.95	1.88	1.81
2000	2.41	2.33	2.25	2.17	2.09
2500	2.68	2.59	2.50	2.41	2.32
3000	2.95	2.85	2.75	2.65	2.55
3500	3.22	3.11	3.00	2.89	2.78
4000	3.44	3.32	3.20	3.08	2.94
4500	3.66	3.53	3.40	3.27	3.14
5000	3.83	3.69	3.55	3.41	3.27
5500	4.00	3.85	3.70	3.55	3.40
6000	4.17	4.01	3.85	3.69	3.53
6500	4.34	4.17	4.00	3.83	3.66

7000	4.51	4.33	4.15	3.97	3.76
7500	4.68	4.49	4.30	4.11	3.92
8000	4.85	4.65	4.45	4.25	4.05
8500	5.02	4.81	4.60	4.39	4.18
9000	5.19	4.97	4.75	4.53	4.31
9500	5.36	5.13	4.90	4.67	4.44
10000	5.48	5.24	5.00	4.76	4.52

2° Dimensions du creuset.

Hauteur = h.

Largeur = $1.2\,h$.

Longueur = $3.33\,h$.

Capacité = $4\,h^3$.

PRODUCTION en fonte par 24 heures.	HAUTEUR.	LARGEUR.	LONGUEUR.
kil.	mèt.	mèt.	mèt.
500	0.260	0.312	0.867
1000	0.327	0.392	1.090
1500	0.375	0.450	1.250
2000	0.415	0.500	1.380
2500	0.445	0.535	1.480
3000	0.470	0.564	1.560
3500	0.500	0.600	1.660
4000	0.520	0.625	1.730
4500	0.540	0.650	1.800
5000	0.560	0.672	1.860
5500	0.580	0.695	1.930
6000	0.595	0.713	1.980
6500	0.610	0.732	2.030
7000	0.625	0.750	2.080
7500	0.640	0.770	2.130
8000	0.655	0.790	2.180
8500	0.670	0.805	2.230
9000	0.685	0.820	2.280
9500	0.700	0.840	2.330
10000	0.715	0.860	2.380

3° Longueur cylindrique du ventre = $^1/_5$ du diamètre.

4° Hauteur du fourneau depuis la sole du creuset jusqu'au gueulard pour diverses natures de minerais et de combustibles.

Le diamètre au ventre étant 1.

MINERAIS réfractaires.			MINERAIS moyens réfractaires			MINERAIS moyens.			MINERAIS Moyens fusibles.			MINERAIS fusibles.		
Coke dur.	Coke moyen.	Coke tendre.	Coke dur.	Coke moyen.	Coke tendre.	Coke dur.	Coke moyen.	Coke tendre.	Coke dur.	Coke moyen.	Coke tendre.	Coke dur.	Coke moyen.	Coke tendre.
3.98	3.91	3.84	3.77	3.70	3.63	3.56	3.49	3.42	3.35	3.28	3.21	3.14	3.07	3.00
5° Hauteur du ventre au-dessus du sol, le diamètre étant 1.														
1.22	1.19	1.16	1.13	1.10	1.07	1.04	1.01	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.83	0.80
6° Diamètre au gueulard, le diamètre au ventre étant 1.														
0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54
7° Hauteur de l'ouvrage, le diamètre au ventre étant 1.														
0.55	0.52	0.49	0.52	0.49	0.46	0.49	0.46	0.43	0.46	0.43	0.40	0.43	0.40	0.37
8° Évasement de l'ouvrage ou élargissement dans le haut, la hauteur de l'ouvrage étant 1.														
1/12	1/14	1/16	1/14	1/16	1/18	1/16	1/18	1/20	1/18	1/20	1/22	1/20	1/22	1/24

9° Consommation en coke (fonte grise).

On a en moyenne :

Minerais réfractaires.	280 coke pour %	fonte.
id. moyens réfractaires.	260 *id.*	*id.*
id. moyens.	240 *id.*	*id.*
id. moyens fusibles. . .	220 *id.*	*id.*
id. fusibles.	200 *id.*	*id.*

d'où :

Combustible brûlé par 24 heures.

PRODUCTION en fonte.	MINERAIS RÉFRACTAIRES.	MINERAIS moyens RÉFRACTAIRES.	MINERAIS moyens.	MINERAIS moyens fusibles.	MINERAIS fusibles.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
500	1413.6	1317.6	1221.6	1125.6	1029.5
1000	2822.4	2630.4	2438.4	2246.4	2054.4
1500	4226.4	3938.4	3650.4	3362.4	3074.4
2000	5625.6	5241.6	4857.6	4473.6	4089.6
2500	7020.0	6540.0	6060.0	5580.0	5100.0
3000	8409.6	7833.6	7257.6	6681.6	6105.6
3500	9794.4	9122.4	8450.4	7778.4	7106.4
4000	11174.4	10406.4	9638.4	8870.4	8102.4
4500	12549.6	11685.6	10821.6	9957.6	9093.6
5000	13920.0	12960.0	12000.0	11040.0	10080.0
5500	15285.6	14229.6	13173.6	12117.6	11061.6
6000	16646.4	15494.4	14342.4	13190.4	12038.4
6500	18002.4	16754.4	15506.4	14258.4	13010.4
7000	19353.6	18009.6	16665.6	15321.6	13977.6
7500	20700.0	19260.0	17820.0	16380.0	14940.0
8000	22041.6	20505.6	18969.6	17433.6	15897.6
8500	23378.4	21746.4	20114.4	18482.4	16850.4
9000	24710.4	[illegible]	[illegible]	19526.4	17798.4
9500	26037.6	24213.6	22389.6	20565.6	18741.6
10000	27360.0	25440.0	23520.0	21600.0	19680.0

10° Consommation d'air froid.

En moyenne, on a pour :

Minerais réfractaires.		2100 m. c. de vent p. % fonte.		
id.	moyens réfractaires.	1950	*id.*	*id.*
id.	moyens.	1800	*id.*	*id.*
id.	moyens fusibles. . .	1650	*id.*	*id.*
id.	fusibles.	1500	*id.*	*id.*

11° Quantités moyennes d'air lancées par cheval et par minute pour différentes pressions.

Pressions.		kilog.		m. c.
1	centim. de mercure =	0.0136	par centim. quarré	29.78
2	*id.*	0.0272	*id.*	14.89
3	*id.*	0.0408	*id.*	9.92
4	*id.*	0.0544	*id.*	7.44
5	*id.*	0.0680	*id.*	5.95
6	*id.*	0.0816	*id.*	4.96
7	*id.*	0.0952	*id.*	4.25
8	*id.*	0.1088	*id.*	3.72
9	*id.*	0.1224	*id.*	3.30
10	*id.*	0.1360	*id.*	3.00
11	*id.*	0.1496	*id.*	2.71
12	*id.*	0.1632	*id.*	2.48
13	*id.*	0.1768	*id.*	2.29
14	*id.*	0.1904	*id.*	2.13
15	*id.*	0.2040	*id.*	1.98
16	*id.*	0.2176	*id.*	1.86
17	*id.*	0.2312	*id.*	1.75
18	*id.*	0.2448	*id.*	1.66
19	*id.*	0.2584	*id.*	1.57
20	*id.*	0.2720	*id.*	1.49

12° Force en chevaux des machines soufflantes pour chaque kilog. de fonte coulée par 24 heures.

Minerais réfractaires. .	cokes	durs. . . .	1	cheval.
id.	*id.*	moyens. .	0.70	*id.*
id.	*id.*	tendres. .	0.48	*id.*
moyens réfract.	*id.*	durs. . .	0.90	*id.*
id.	*id.*	moyens. .	0.62	*id.*
id.	*id.*	tendres. .	0.42	*id.*
moyens . . .	*id.*	durs. . .	0.80	*id.*
id.	*id.*	moyens. .	0.54	*id.*
id.	*id.*	tendres. .	0.36	*id.*
moyens fusibles.	*id.*	durs. . .	0.70	*id.*
id.	*id.*	moyens. .	0.46	*id.*
id.	*id.*	tendres. .	0.30	*id.*
fusibles . . .	*id.*	durs. . .	0.60	*id.*
id.	*id.*	moyens. .	0.38	*id.*
id.	*id.*	tendres. .	0.24	*id.*

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ OU DÉTERMINATION DES BÉNÉFICES PROBABLES D'UNE USINE DE HAUTS-FOURNEAUX, SUIVANT LES DIVERS PRIX DE REVIENT DES MATIÈRES PREMIÈRES.

Nous avons dit que pour 1000 kilog. fonte moyenne, il fallait :

4000 kil. houille.
3000 kil. minerai.
1000 kil. castine ou herbue.

En produisant par jour 15,000 kil. de fonte, il se consomme dans le même temps :

60000 kil. de houille, donnant 33000 kil. de coke.
45000 kil. de minerai.
15000 kil. castine ou herbue.

1° *Frais généraux.*

Le capital social étant 700,000 fr., l'intérêt à 5 p. % et l'usé à 5 p. %, portent à 70,000 fr. par an une première somme à prélever sur les recettes. Adoptant trois cents jours pour le temps moyen du travail d'un haut-fourneau par an, ce à cause des chômages que nécessite, tous les 4, 5 ou 6 ans, le renouvellement de l'une ou plusieurs parties intérieures, la dépense journalière correspondant au capital social est $\frac{70000}{300} = 233$ fr. 33. Les frais de gérant, directeur, comptable et employés divers, montent à 20,000 fr. par an ou $\frac{20000}{300} = 66$ fr. 66 par jour. On a donc pour frais généraux :

1° Intérêt. . . .	233.33
2° Personnel. .	66.66
Total. . . .	300.00

300 fr. pour 15000 kilog. fonte font $\frac{300}{15} = 20$ fr. par 1000 kil.

2° *Main-d'œuvre.*

La carbonisation du coke effectuée à l'entreprise, à raison de 1 fr. 50 les 1000 kilog., donne, pour 33,000 kilog., une dépense journalière de 33 × 1.50 = 50 fr.

Le transport du coke aux gueulards, le cassage et le grillage de la mine en roche, le cassage de la castine, le transport de la mine et de la castine aux gueulards, s'effectuent au moyen de 12 hommes travaillant nuit et jour par équipes de 12 heures, faisant par conséquent 24 hommes à 2 fr. en moyenne. Net 50 fr.

Le soin des machines exige 2 mécaniciens et 2 chauffeurs à 4 fr. l'un : 16 fr.

La fonderie occupe par fourneau 6 hommes pendant 24 heures, qui, à 5 fr. l'un dans l'autre pour 12 heures, font par fourneau 30 fr., et pour les deux 60 fr.

Le service de la cour, de la fonderie, du cassè-fonte, du crassier, est fait par 6 hommes et 3 chevaux, coûtant ensemble 24 fr.

On a donc pour total de la main-d'œuvre, par jour :

1° Fours à coke. . . .	50 fr.
2° Gueulards.	50
3° Machines.	16
4° Fonderie.	60
5° Service de la cour. .	24
Total. . . .	200 fr.

200 fr. pour 15000 kilog. fonte, font $\frac{200}{15} = 13$ fr. 30 par 1000 kilog.

3° *Matières premières.*

1° *Houille.* Elle peut coûter, rendue aux fours à coke, 5, 10, 15, 20, 25 et même 30 fr. les 1000 kilog.

2° *Minerai.* Il peut coûter, rendu dans la halle de préparation, 5, 10, 15 et même 20 fr. les 1000 kilog.

3° *Castine.* Elle peut s'évaluer à 1 fr. les 1000 kilog. pour tous les cas.

Quels que soient les prix des matières premières, les frais généraux et la main-d'œuvre ne changeront pas et seront toujours de 20 + 13.30 = 33 fr. net par 1000 kilog. de fonte

produite. La fonte peut se vendre de 150 à 250 fr. les 1000 kilog. sortant de l'usine : soit 200 fr. en moyenne.

200 — 33 = 167 fr. qui restent pour payer les matières, les réparations et les bénéfices nets.

Considérant 10 p. % comme le minimum convenable pour réparations et bénéfices nets, il reste pour l'acquisition des matières premières :

167 fr. — 16.70 = 150 fr. 30.

Toutes les fois que le prix d'acquisition des matières premières dépassera ce chiffre, il y aura perte à exploiter les hauts-fourneaux. En donnant ce chiffre de 150 fr. 30, nous sommes obligés d'admettre un fort léger bénéfice net, comparativement aux chances que l'on court dans cette industrie ; aussi dirons-nous qu'en général, si le prix de revient des matières premières ne dépasse pas 140 fr., on pourra exploiter cette industrie avec avantage.

NAVIGATION TRANSATLANTIQUE.

APPAREILS MOTEURS DE 220 ET 450 CHEVAUX, COMMANDÉS PAR LE GOUVERNEMENT AUX ATELIERS FRANÇAIS POUR LE SERVICE DE LA MARINE ROYALE.

Les constructions mécaniques le plus à l'ordre du jour, en ce moment, sont les appareils à vapeur destinés aux bâtiments de l'état. L'isolement dans lequel la France s'est trouvée tout d'un coup, a produit, en faveur des mécaniciens français, une réaction qui, nous avons tout lieu de le croire, ne fera pas regretter les sacrifices qui en ont été la conséquence.

Plusieurs appareils de la force de 220 et de 450 chevaux ont été commandés en France pour faire le service de la navigation transatlantique. Le modèle adopté pour les appareils de 450 chevaux est, à très-peu près, le projet présenté par MM. *Schneider frères*, du *Creusot*, au ministre de la marine, et résultant d'une étude approfondie, faite par M. *Bourdon*, ingénieur en chef de cette usine, sur les meilleurs bâtiments de l'Angleterre; on peut le voir représenté Planches XV et XVI de cet ouvrage. Celui adopté pour les appareils de 220 chevaux est le *Pluton*, (Planche XVIII) construit dans les ateliers du *Creusot*, d'après les plans du *Véloce*, de M. *Fawcett* de *Liverpool*, modifiés par M. *Bourdon*.

Les conditions auxquelles ont dû se soumettre les constructeurs, pour obtenir ces commandes, sont assez rigoureuses, mais n'en garantissent que mieux la bonne exécution de ces importants et coûteux appareils. On pourra s'en convaincre par la lecture de la copie, que nous donnons ci-dessous, du cahier des charges relatif aux appareils de 450 chevaux.

Cahier des charges relatif à la fourniture de dix appareils à vapeur de la force de 450 chevaux chacun.

CONDITIONS DE LA FOURNITURE.

Art. 1er. Les fournisseurs s'engagent à confectionner, li-

vrer, mettre en place et ajuster dix appareils pour bâtiments à vapeur de la puissance de 450 chevaux chacun, aux conditions indiquées dans les articles ci-après.

Art. 2. Chaque appareil sera composé de deux machines à vapeur à basse pression et à double effet, à détente variable à volonté, d'égale force et complètes. Elles seront en tout conformes aux plans présentés par le fournisseur, et agréées, après examen préalable, par une commission spéciale nommée à cet effet par M. le ministre de la marine. Le grand cylindre de chaque machine devra avoir au moins *un mètre quatre-vingt-treize centimètres de diamètre*, et la course du piston ne sera pas au-dessous de *deux mètres vingt-huit centimètres*.

Art. 3. Le fer employé à la confection des diverses pièces des machines sera de première qualité.

Les fontes seront douces et de seconde fusion.

Les tôles qui entreront dans la composition des chaudières seront fabriquées avec du fer de qualité supérieure, travaillé au charbon de bois et ensuite corroyé.

Avant d'être définitivement mises en œuvre, ces tôles seront soumises à l'examen d'une commission, qui s'assurera de leur qualité par les moyens qu'elle jugera convenables, et qui marquera chaque feuille d'un poinçon.

Les pièces en fonte, fer ou cuivre, seront exemptes de soufflures, pailles ou autres défauts de nature à diminuer leur force ou la solidité des assemblages.

Le fabricant ne pourra les recouvrir de peinture, mastic ou vernis qu'après que la commission, chargée de constater le degré d'avancement des appareils, aura reconnu que ces pièces sont propres à faire un bon service.

Les chaudières seront construites avec les perfectionnements les plus récents : les rivures des fonds seront à deux rangs de rivets.

Quel que soit le système de chaudières adopté, il n'y aura qu'une seule cheminée et qu'un seul tuyau pour le dégagement de la vapeur qui s'échappe par la soupape de sûreté, et chaque chaudière fournira indifféremment de la vapeur à l'une ou à l'autre machine.

Art. 4. Les seize gros boulons, destinés à fixer la plate-forme de l'appareil au fond du navire, seront en cuivre rouge.

La cheminée sera garnie de haubans formés de baguettes de fer rond.

Tous les tuyaux et robinets destinés aux communications de l'eau des chaudières et des pompes seront en cuivre rouge ou en bronze.

Le fabricant garnira toutes les ouvertures qui seront faites au travers du bâtiment, pour le service de la machine, de manchons en cuivre rouge d'une forte épaisseur ; ils recevront les tuyaux qui doivent traverser le navire. Les ouvertures seront recouvertes à l'extérieur par des plaques bombées et percées de trous, afin d'empêcher l'introduction d'objets nuisibles au mouvement de la machine.

Art. 5. Les pompes alimentaires, dont les pistons seront en cuivre, fourniront au moins le double de la quantité d'eau que la chaudière pourra consommer, afin que l'on puisse faire écouler, par les tuyaux d'évacuation, une partie de l'eau trop salée qui se trouverait dans la chaudière, sans qu'il en résulte aucune interruption dans le mouvement de la machine.

Les divers tuyaux à vapeur seront réunis par le moyen d'articulations à garnitures, afin d'éviter les ruptures qui pourraient provenir de la dilatation du métal ou du jeu de la charpente du bâtiment.

Art. 6. Les cloisons en tôle nécessaires pour former les soutes à charbon seront établies au-dessus sur les côtés, et, s'il y a lieu, à l'arrière des chaudières. La capacité de ces soutes dans chaque bâtiment sera réglée d'après la condition qu'elles puissent contenir au moins sept cent cinquante tonneaux de charbon.

Il sera placé, dans toutes les parties qui reçoivent de l'huile ou du suif, des réservoirs en cuivre jaune poli, avec des tuyaux pour conduire ces matières aux points convenables.

Art. 7. Seront considérées comme faisant partie de chaque appareil :

1° Deux pompes d'épuisement du navire, qui seront mises en mouvement par les machines dont les tuyaux d'évacuation seront en cuivre ;

2° Une pompe à deux corps et à quatre passages pour remplir et vider la chaudière : elle sera construite aussi pour agir comme pompe à incendie et comme pompe à laver ; en conséquence elle sera munie de tuyaux en cuivre pour le premier usage, et de tuyaux en cuir d'une longueur suffisante pour le second usage.

3° Une balustrade en fer poli formant contour de chaque machine, pour protéger les mécaniciens contre les mouvements du navire;

4° Une plate-forme complète en fer fondu, placée au niveau des carlingues, dans tout l'espace compris entre les chaudières et la cloison de l'avant des machines, et une seconde convenablement élevée en avant des cylindres; deux escaliers en fer seront fournis pour monter sur ces plates-formes.

Art. 8. Le fabricant fournira, pour chaque appareil, les ustensiles et objets de rechange ci-après :

1° Un rechange complet de grilles pour fourneaux;

2° Un rechange complet de coussinets et clavettes des grandes bielles verticales;

3° Un demi-rechange pour les bielles des pistons et pompes à air;

4° Un rechange complet de coussinets pour les arbres des roues;

5° Un assortiment double de toutes les clefs, et deux clefs anglaises;

6° Le mercure nécessaire pour le manomètre;

7° Double rechange de tubes en cristal, garnis de robinets en cuivre, destinés à marquer le niveau de l'eau;

8° Cinq cents kilogrammes de limaille, pour mastic;

9° Les masses et marteaux en fer et en cuivre nécessaires au service des machines;

10° Deux anneaux en fonte ajustés pour remplacer ceux du dessus de la garniture des pistons;

11° Un cercle en cuivre pour le frottement autour de l'excentrique;

12° Un rechange de boulons nécessaire pour presser la garniture de l'un des pistons et pour le couvercle de l'un des cylindres;

13° Vingt forts boulons et quarante plus petits, ajustés pour diverses parties de la machine;

14° Six rayons pour les roues, six aubes en bois, vingt-quatre étriers garnis de leurs écrous et douze plaques en tôle pour les appuyer;

15° Les pelles, tisonniers, barres fixes pour leur appui, demi-hectolitre à roulettes, pour le charbon, et tous autres ustensiles à l'usage des chaudières;

16° Un rechange de tresses pour les garnitures;

17° Deux filières à coussinets et tarauds assortis aux boulons de la machine ;

18° Une presse à forer, un vilebrequin et un assortiment de forets ;

19° Deux feuilles de tôle et les rivets nécessaires pour leur emploi ;

20° Deux vases en tôle pour le frasil ;

21° Deux bouilloires en cuivre pour le suif ;

22° Le nombre de pistons à vis pour tire-bourre ou pour lever les pièces ;

23° Un assortiment de mandrins ou repoussoirs ;

24° Douze ciseaux assortis pour chasser le mastic ;

25° Deux compas droits à pointe d'acier, et deux compas de calibre ;

26° Quatre palans à moufle en fer, à rouets en cuivre, pour lever les couvercles des cylindres : chaque palan sera formé d'une poulie à trois rouets et d'une poulie à deux rouets ;

27° Deux chaînes garnies chacune d'une chape à vis pour soulever les arbres et changer la position des porte-coussinets.

Art. 9. Des ingénieurs de la marine désignés par le ministre suivront la confection progressive des appareils qui font l'objet du présent cahier des charges. Leurs visites seront assez fréquentes pour qu'ils puissent s'assurer, avant le montage, que chacune des pièces qui entrent dans la composition des machines est exécutée avec tout le soin requis et avec des matières de la première qualité. Les pièces qui ne satisferaient pas à cette double condition seront rebutées par eux ; et les fabricants seront tenus de les remplacer.

Tous les ateliers seront ouverts aux ingénieurs de la marine quand ils se présenteront, afin qu'ils puissent exercer leur inspection sans obstacle.

Art. 10. Les chaudières et les cylindres seront éprouvés conformément aux ordonnances en vigueur, et devront satisfaire à ce qu'elles prescrivent pour une marche habituelle, sous la pression mesurée par une colonne de mercure de vingt centimètres de hauteur.

Les chaudières seront garnies de soupapes de sûreté.

L'épreuve des chaudières et des cylindres sera faite, aux frais du fournisseur, par une commission désignée par le ministre,

Art. 11. Les machines terminées, et prêtes à être montées, devront être transportées au port de destination, aux frais du fabricant, et y être rendues, au plus tard, la première paire, dans un délai de dix-huit mois après l'approbation du marché par le ministre; la seconde paire, quatre mois après la première.

Si les unes ou les autres ne sont pas arrivées à leur destination dans les délais fixés, il sera opéré, sur le prix convenu pour chaque appareil, une retenue de *deux cents francs* par jour de retard.

Art. 12. Pour le montage des machines à bord du bâtiment, la marine fournira gratuitement, au port d'arrivée, les secours dont le fournisseur aura besoin, en hommes et en apparaux, pour le transbordement des grosses pièces, et elle se chargera de tous les travaux de charpente nécessaires à l'installation des machines et des chaudières à bord du bâtiment.

Art. 13. Après la mise en activité des machines, il sera fait, en présence du fabricant, autant d'expériences qu'il sera jugé nécessaire pour constater la bonté et la marche régulière de l'appareil, et s'assurer que la tension de la vapeur dans les grands cylindres faisant équilibre à une colonne de mercure de cent vingt-sept millimètres en sus de la pression atmosphérique, les chaudières fournissent assez de vapeur pour que, en réglant convenablement la résistance, les roues puissent faire seize tours un tiers par minute.

Art. 14. Dans le cas où il serait reconnu que quelqu'un des appareils eût des vices qui nuisissent essentiellement à sa marche, ou qu'il ne présentât pas la force indiquée à l'article 1er, la marine se réserve la faculté

Soit d'exiger le remboursement des avances qu'elle aurait faites au fabricant, et, en ce cas, de lui abandonner les machines;

Soit de faire remédier, aux frais dudit fabricant, à tous les défauts des machines par tels moyens qu'elle jugera convenable d'employer.

Art. 15. Le montant de la fourniture pour chaque appareil sera payé en six termes égaux, savoir :

Un sixième après qu'une commission, désignée par le ministre, aura constaté que les approvisionnements de matières réunies dans les usines, et spécialement destinées à

la fabrication des machines, représentent au moins le sixième du prix de l'appareil;

Un second sixième lorsque les cylindres seront alésés, les chaudières au tiers confectionnées, et les autres parties des machines avancées dans la même proportion;

Un troisième sixième lorsque, au jugement de la commission, les travaux exécutés représenteront une valeur égale ou supérieure à la moitié du prix des machines;

Le quatrième sixième lorsque les machines seront terminées dans l'atelier;

Le cinquième lorsque l'appareil sera arrivé au port de destination;

Le sixième trois mois après la mise en activité des machines.

Si, dans les plus longues traversées de mer que le bâtiment pourra faire pendant les trois mois qui suivront la mise en activité des machines, celles-ci éprouvaient des avaries par défaut de bonne exécution ou de solidité dans leur installation, le fabricant les fera réparer à ses frais, ou supportera, sur le dernier paiement, la retenue des dépenses que la réparation de ces avaries aurait occasionées à la marine, si le travail avait été fait dans les arsenaux de l'Etat.

Sont exceptés de cette disposition les cas de force majeure qui ne permettraient pas de considérer les avaries éprouvées comme provenant de défauts dans la fabrication ou l'installation des machines.

Le fournisseur, pour sa garantie, placera à bord du bâtiment, pendant les trois mois dont il s'agit, un mécanicien de son choix, auquel il sera payé par la marine une somme mensuelle de 200 francs, indépendamment des doubles rations accordées à bord des bâtiments de l'Etat.

Les paiements auront lieu à Paris.

Art. 16. Afin d'éviter toute action que des tiers voudraient exercer sur la propriété des ouvrages déjà exécutés et admis en recette, le fabricant remettra des reçus portant reconnaissance que les objets présentés par lui à la commission appartiennent à la marine, et qu'ils restent dans son établissement à titre de dépôt jusqu'à ce que l'ensemble des machines et des chaudières puisse être ajusté, complété et monté.

Art. 17. Le fournisseur supportera, sur tous les paiements

qui lui seront faits en vertu du présent marché, la retenue des 3 p. 100 au profit de la caisse des invalides de la marine; il acquittera les frais de timbre, d'enregistrement et d'impression du traité à cinquante exemplaires.

Art. 28. Les conditions générales arrêtées par le ministre, le 22 septembre 1817, sont applicables à la fourniture des dix appareils à vapeur, en tout ce qui n'est pas contraire aux dispositions du présent cahier des charges.

Paris, le 23 août 1840.

Les constructeurs ont consenti à souscrire aux engagements ci-dessus, à raison de 1,800 fr. par force de cheval, faisant 810,000 fr. par couple de machines.

Voici quelques détails sur le projet exécuté au Creusot pour satisfaire aux diverses conditions prescrites par le cahier des charges.

1° *Aperçu sur l'ensemble général d'une machine pour appareils de 450 chevaux.*

Chaque machine (Pl. XV et XVI) est supportée sur une plaque générale de fondation, fixée aux *carlingues* du navire par 16 forts boulons en cuivre rouge traversant la carène du bâtiment et saisissant en même temps les bases de l'entablement.

Les dimensions des principales pièces sont les suivantes :

	mèt.
Cylindre à vapeur, diamètre	1.93
Id. course du piston	2.28
Balanciers, longueur.	6.40
Bielle principale, longueur	5.35
Pompe à air, diamètre.	1.40
	mt c.
Capacité du condenseur	4.200

Les chaudières, au nombre de 4 à 16 foyers intérieurs de section transversale rectangulaire, présentent une surface de chauffe totale de 510 mètres quarrés et péseront environ 110,000 kilog.

Le cylindre à vapeur est à condensation et détente variable entre $^1/_8$ et $^4/_5$ de la course. La pression de la vapeur à son entrée, avant la détente, est de 127 millimètres de mercure libre, correspondant à un atmosphère $^2/_3$ environ.

La distribution se fait au moyen de tiroirs en D couché, comme dans les appareils du *Véloce* et du *Pluton*, auxquels elle a été empruntée. Le grand avantage de ce système, c'est : 1° de rendre la manœuvre à la main d'autant plus facile que la vapeur se fait équilibre par suite de la pression égale et contraire qu'elle opère sur chacun des tiroirs; 2° d'assurer un contact parfait de chacun des tiroirs sur sa plate-forme, par suite de l'indépendance dans laquelle ils sont l'un par rapport à l'autre.

La détente est produite par une soupape *à lanterne*, dite soupape du *cornouaille*, communiquant par une série de tiges et leviers, suspensifs d'action à volonté, avec un châssis à galet portant sur des cames de formes différentes, échelonnées sur l'arbre principal et rendant, à la volonté du machiniste, la détente plus ou moins prompte, suivant le travail à effectuer. On comprend, en effet, que le travail à dépenser varie, puisque le travail utilisé varie lui-même en raison de la direction et de l'intensité du vent; c'est donc une excellente chose qu'une détente variable dans des appareils de ce genre; mais ne serait-il pas plus convenable de l'effectuer simplement par le recouvrement extérieur des tiroirs, comme cela se pratique ordinairement; c'est une question que nous posons, et que messieurs les constructeurs se sont posée eux-mêmes sans doute, mais que l'expérience seule peut confirmer; aussi pensons-nous qu'il serait bon de construire les tiroirs de telle sorte que, si plus tard la soupape ne donne pas de bons résultats, on puisse les munir facilement de recouvrements rapportés.

Au sortir du cylindre, la vapeur se rend au condenseur par deux tuyaux rectangulaires, à l'extrémité desquels elle rencontre un jet d'eau froide sans cesse renouvelée qui la convertit bientôt en eau à 40° établissant une pression de $^1/_{16}$ d'atmosphère seulement contre le piston.

Du condenseur, l'eau se rend à la pompe à air, qui l'envoie dans la bâche d'eau chaude, où partie est enlevée par la pompe d'alimentation des chaudières, partie est envoyée à la mer par un jet continu que favorise l'espace d'air comprimé, conservé exprès supérieurement.

La pompe d'alimentation, munie de 3 clapets, dont un d'aspiration, un de refoulement et un de décharge dans la bâche d'eau chaude, pour le cas où le robinet d'injection dans les chaudières ne permet pas à toute l'eau refoulée d'y

pénétrer, ne fait pas seule le service des chaudières; 3 autres pompes, dont une foulante et 2 aspirantes, lui sont adjointes : la première pour alimenter les chaudières quand la machine ne marche pas; les 2 autres pour retirer à chaque instant de ces dernières les eaux complètement saturées de sels marins qui, par suite de leur densité, se trouvent toujours à la partie inférieure.

Outre ces pompes, il en existe encore 4 autres fonctionnant à volonté, indépendamment l'une de l'autre, et destinées à vider le fond du navire des eaux qui peuvent avoir été amenées soit par infiltration, soit par suite d'accidents quelconques.

La transmission du mouvement du piston à l'arbre de rotation se fait, comme à l'ordinaire, par l'intermédiaire de sa tige, mue en ligne droite au moyen d'un parallélogramme, et communiquant avec 2 balanciers inférieurs, placés de chaque côté par 2 bielles à têtes simples; les balanciers communiquent eux-mêmes le mouvement alternatif dont ils sont doués, à l'arbre, par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle.

Le tout se trouve relié et supporté par un entablement gothique, genre d'architecture imité des modèles de M. *Maudslay*, et principalement du *British-Queen* de M. *Nappier*, présentant le grand avantage de se prêter beaucoup mieux que l'architecture grecque aux diverses contrariétés que lui font nécessairement éprouver les exigences des principes de théorie et construction auxquelles doivent satisfaire les machines.

2° *Examen particulier des diverses parties de la machine.*

Nous les diviserons en 7 distinctes :

1° La plaque de fondation ;
2° Le cylindre à vapeur ;
3° La distribution ;
4° La condensation ;
5° L'alimentation ;
6° La transmission du mouvement ;
7° L'entablement.

1° *Plaque de fondation.*

Cette partie, si secondaire dans les machines ordinaires

de terre, joue un des principaux rôles dans les machines de bateaux, par suite des fonctions étendues qu'on lui a fort ingénieusement adjointes.

Destinée à supporter la machine et à la relier solidement au corps du bâtiment, elle se compose d'une plaque horizontale (*a*) de 8 centimètres d'épaisseur, renforcée par 2 plaques verticales (*b*) placées en dessous longitudinalement et dans le prolongement de l'entablement, sur une hauteur de 0m.60, de manière à empêcher toute élasticité dans la première. La plaque horizontale, devant recevoir 5 pièces importantes de la machine, savoir :

Le cylindre à vapeur,
Le condenseur,
La pompe à air,
L'entablement,
Les supports du balancier,

est soigneusement rabotée sur toute sa longueur, de manière à [illegible] exercer un contact parfait contre les *portées* des pièces ci-dessus, rabotées elles-mêmes à cet effet.

Trois assemblages doivent fixer principalement l'attention : ce sont ceux du cylindre à vapeur, du condenseur et de la pompe à air. Au-dessous [illegible] du cylindre, la plaque a reçu une courbure qui lui permet de servir directement de fond à ce dernier ; mais cette disposition, [illegible] toute ingénieuse qu'elle est, présente, à notre avis, un grave inconvénient ; c'est que si, par hasard, la bielle casse, ou si une quantité d'eau trop abondante se trouve dans la partie inférieure, le [illegible] fond sera exposé à une rupture qui, dans le premier cas, est presque inévitable. Or, la rupture du fond du cylindre, c'est la rupture de la plaque, et remplacer une plaque de fondation n'est pas moins que démonter et remonter complètement la machine. A notre avis, il serait bon d'imiter en ce point la disposition du *British Queen*, qui a un fond rapporté au cylindre en 2 pièces, dont l'une, au centre et en fer, doit recevoir la première le choc de la tige prolongée du piston, pour la transmettre en biseau, sur toute la circonférence, au fond rapporté extérieur, et garantit totalement par là la plaque de fondation de la rupture. Il est possible, après tout, que l'expérience ait démontré que cette précaution n'est pas indispensable.

A l'endroit du condenseur, la disposition est remarquable :

peu de place en dessous pour le récipient qui doit conduire l'eau à la pompe à air, et danger à redouter que cette eau, dans le *tangage* du navire, ne s'introduise à chaque coup de piston dans le cylindre par la lumière du tiroir inférieur. Au lieu d'une partie rapportée à boulons inférieurement, on a coulé le fond du condenseur (*c*) avec la plaque elle-même ; puis, pour éviter la rentrée de l'eau dans le cylindre, on a élevé la lumière du tiroir jusqu'en (*d*). De cette dernière disposition résulte, au premier abord, une objection : l'eau qui se sera accumulée au fond du cylindre, pendant le repos, ne pourra plus sortir et exposera le fond à être rompu.

Pour remédier à cela, une petite soupape (*e*) a été placée ainsi qu'une autre (*e'*) près de chaque extrémité de la course du piston, non-seulement comme soupape de sûreté contre le choc du piston sur l'eau, mais encore comme soupape de décharge par un jet de vapeur après soulèvement préalable à la main. La soupape inférieure qui a préoccupé vivement les gens de l'art comme insuffisante au cas du choc, nous semble moins déplacée que la soupape supérieure qui ne peut, elle, servir que dans le cas où il y a choc du piston contre l'eau renfermée supérieurement ; nous n'hésiterions pas, pour notre compte, à la placer de côté, comme l'autre. Il est bon d'observer, pour se rendre compte de l'utilité de ces soupapes, que lorsque le piston arrive à l'extrémité de sa course, les tiroirs sont au milieu de la leur et interceptent, par conséquent, toute communication pour l'évacuation de l'eau par les lumières.

A l'endroit de la pompe à air, la même disposition inférieure continue, et comme l'espace entre le clapet d'aspiration et le piston doit être aussi faible que possible, afin que ces derniers se soulèvent plus tôt, le corps de la pompe à air plonge dans la bâche jusqu'à 6 ou 8 centimètres du fond, et est embrassé par cette dernière sur une demi-circonférence, aussi près que possible.

2° *Cylindre à vapeur.*

Le cylindre à vapeur est en fonte alésée sur un alésoir vertical pour éviter la dépression qu'il éprouverait sur un alésoir horizontal, par suite de son grand diamètre. Sa bride inférieure porte 4 oreilles, au moyen desquelles il est relié au bâtiment et à la plaque de fondation.

Le piston, d'un seul morceau, creux à garniture métal-

lique, maintenu en place par un anneau rapporté et boulonné, affecte la forme bombée sur les deux faces. Cette disposition a pour but :

1° D'atténuer les chocs qui pourraient se produire contre les fonds, soit par l'eau condensée, soit par la casse de la bielle ou toute autre pièce importante;

2° D'allonger la douille d'encastrement, de la tige, sans augmenter l'épaisseur de l'anneau et par conséquent la longueur totale du cylindre.

Le *couvercle* du cylindre, creux et d'un seul morceau, est tourné supérieurement, de manière à offrir un aspect aussi agréable qu'un faux couvercle en cuivre rapporté, comme on les faisait autrefois.

Ce mode de construction des couvercles a le grand avantage d'augmenter d'une part leur résistance; de l'autre, de séparer par une couche d'air invariable l'intérieur du cylindre de l'extérieur; et de le préserver ainsi d'une perte assez notable de chaleur par rayonnement.

3° *Distribution*.

Comme la représente la planche XV, elle s'effectue au moyen de 2 tiroirs, forme D couché, en bronze, serrés par côté, système qui présente le petit inconvénient de ne pas serrer également partout. Pour y obvier, MM. les ingénieurs du *Creusot* présentent une nouvelle disposition (fig 3, planche XVI), imitée de plusieurs bateaux anglais, et qui a le grand avantage de permettre l'emploi des garnitures métalliques à ressorts pour tiroirs.

La soupape à lanterne est en bronze, placée dans une boîte en fonte, dont la position ne nous paraît pas très-favorable à la visite des garnitures, des tiroirs, bien que pour faire cette dernière on descende par en haut; elle nous paraîtrait plus commodément placée sur le côté, s'il y a toutefois moyen.

4° *Condensation*.

La condensation est un point très-délicat de la composition d'une machine de bateau, en ce qu'elle varie suivant la place, toujours trop petite, qui lui est laissée, tant par suite de la nécessité dans laquelle on est de procurer un abordage facile des diverses parties à visiter, que par suite de la disposition des pièces environnantes indispensables.

A notre avis, bien qu'elle ait soulevé plusieurs objections que l'on pourra juger tout à l'heure, la disposition du Creusot nous paraît aussi heureuse que possible, tant par la facilité avec laquelle elle satisfait à toutes les conditions que l'on peut rechercher pour ce genre de pièces; que par l'élégance et la simplicité de sa construction. Des regards placés près des clapets et permettant leur visite sans être obligé d'entrer dans le condenseur, ce qu'on n'avait pas obtenu auparavant, une hauteur de 5 mètres à la gerbe d'eau destinée à opérer la condensation; tels sont les avantages que nous y remarquons en première ligne. En second lieu, indépendance des supports de l'axe du balancier qui, dans les autres machines, ébranlant sans cesse les assemblages, y occasionnent des fuites; toutes pièces d'une exécution et d'un assemblage faciles, sauf le conduit supérieur qui exige un peu plus de soin.

Quelques personnes ont pensé que le condenseur était de capacité trop faible, et que sa partie supérieure ne servirait en rien à la condensation, parce que l'air s'y accumulerait; or :

1° La capacité du condenseur n'est pas le résultat d'un calcul théorique; ce qu'il faut pour cette pièce, c'est que l'eau présente à la vapeur le plus de surface condensante possible, ce à quoi satisfait la disposition ci-dessus.

2° La capacité du condenseur est de 4 mètres cubes, c'est-à-dire aussi grande, proportionnellement, que celle de tous les condenseurs de bateaux bien construits.

3° La densité de l'air étant les $^8/_5$ de celle de la vapeur d'eau dans les mêmes circonstances de température et de pression, s'il y a de l'air en excès, c'est dans la partie inférieure qu'il se trouvera.

4° Dans les mélanges de gaz et de vapeur, l'espace est également saturé de l'un et de l'autre, dans toutes ses parties.

5° La pression dans le condenseur étant $^1/_{16}$ d'atmosphère, la hauteur de la colonne d'eau s'échappant par le tuyau d'injection sera au moins égale à celle du tuyau vertical entier, qui n'a que 5 mètres, et la condensation s'effectuera autant dans le haut que dans le bas. Il n'y a donc pas lieu de modifier la disposition actuelle.

3° *Alimentation.*

L'autre tuyau vertical sert de bâche d'eau chaude à la

pompe à air : d'une part, donnant de l'eau à la pompe alimentaire, placée un peu trop haut, qui lui rend l'excédant de ce dont elle a besoin par la soupape chargée (*s*), d'autre part rejettant à la mer, par un écoulement que rend continu l'air comprimé dans la partie supérieure, l'eau qui ne peut plus être d'aucune utilité. Une soupape (*s'*) toujours ouverte quand la machine fonctionne, se forme pour effectuer les réparations intérieures, afin d'empêcher l'eau de la mer de rentrer.

En bas de la pompe à air est la soupape d'éjection pour chasser l'air et l'eau du condenseur par une injection de vapeur quand on veut mettre en train.

Par suite du contact des eaux salines, on est dans la nécessité de faire en bronze, comme pour les tiroirs, toutes les pièces mobiles établissant des communications alternatives dans la condensation et l'alimentation, telles que : le corps de pompe, le piston, sa tige, les soupapes et les clapets (1).

6° *Transmission du mouvement.*

La transmission du mouvement comprend cinq espèces de pièces principales, savoir :

Les traverses,
Les bielles,
Les balanciers,
Les manivelles,
Les arbres.

Les *traverses* (*g*) et (*g'*) se font en fer forgé ; brutes, elles pèsent de 1000 à 1200 kilog., et se forgent en 3 parties, à peu près égales en poids, ce qui en rend la confection plus facile. On remarquera que, peu confiant dans la méthode ordinaire d'assemblage des tiges avec les traverses, où l'on se contente soit d'un ou deux écroux, soit d'une clavette, on a réuni ces deux systèmes, afin de rendre la liaison intime des pièces plus sûre.

Les *bielles*, au nombre de trois, deux au cylindre à vapeur en (*h h*), et une à la manivelle en (*h'*), sont toutes en fer forgé et à tête simple ; celle de la manivelle est la plus

(1) Le corps de pompe est la pièce qui présente le plus de difficulté en ce qu'il est d'une très-faible épaisseur et d'un grand diamètre ; aussi n'y a-t-il qu'un fondeur très-exercé qui puisse exécuter ce genre de pièce d'un seul morceau.

difficile à exécuter, par suite de ses proportions plus considérables.

Elles se composent, comme les traverses, de trois parties forgées séparément et soudées ensuite.

Les balanciers (*ii*) présentent cette particularité qu'au lieu d'être fixes sur un axe mobile, ils sont mobiles sur un axe fixe, ce qui nécessite l'emploi de coussinets, dans leur intérieur, serrés par des clavettes. Cette disposition provient de l'impossibilité dans laquelle ont est de faire mouvoir la bielle rigoureusement dans le plan vertical engendré théoriquement par le bouton de la manivelle, dans son mouvement autour du centre de rotation. Il arrive presque toujours que ce dernier décrit une courbe à double courbure, ou, en d'autres termes, oscille de chaque côté du plan théorique du mouvement, ce, parce que la résistance qu'éprouvent les palettes des roues, chaque fois qu'elles viennent frapper l'eau, les fait relever, ce qui ne peut avoir lieu sans une légère inclinaison de l'arbre moteur; c'est pour cette raison que, dans les bateaux bien entendus on a soin de rendre le bouton de manivelles fixe dans la tête de celle qui est adaptée à l'arbre intermédiaire et légèrement mobile dans l'autre.

Malgré cela, la bielle oscille toujours un peu, et la conséquence de ces oscillations, si on ne s'y prêtait à l'endroit de la traverse, serait sa rupture inévitable, cas extrêmement grave, comme on doit bien le penser, et entraînant avec lui le choc du piston contre l'un des fonds du cylindre.

La meilleure manière de se prêter aux oscillations horizontales de la tête supérieure de la bielle, c'est de rendre les balanciers indépendants l'un de l'autre.

Il semblerait, au premier abord, que l'effet des oscillations va aller se reporter sur la traverse de la tige du piston et qu'il sera indispensable de ménager là un mouvement; mais il n'en est rien, parce que, d'une série de petits jeux qu'ont toutes les pièces entre elles depuis la manivelle jusqu'à la tige du piston, on finit par en former un assez grand qui, joint à l'élasticité des tiges, suffit pour garantir la bielle de toute rupture. Aussi n'est-ce que quand le bateau a fonctionné pendant quelques jours que l'on peut être sûr de sa bonne marche à venir, si toutefois, après cet intervalle, aucune fissure ne s'est manifestée dans la tête inférieure de la bielle.

Le parallélogramme ne présente rien de remarquable, c'est un parallélogramme ordinaire de bateau.

Les *manivelles*, en fer forgé, $j\,j$, présentent des difficultés énormes pour l'exécution ; il n'y a pas à penser pouvoir les couler en fonte ; quelque force qu'on leur donne, les chocs les feraient fendre au moyeu ou à la tête.

L'*arbre moteur* en fer est la pièce la plus difficile de toutes. Forgé sur 44 centimètres de diamètre, il exige la réunion, au gros marteau, de 9 barres de fer quarré et rond de 16 à 18 centimètres de côté, lesquelles ont été elles-mêmes formées de 9 autres barres soudées de 3 pouces. C'est ici que les déchets de fer sont considérables, et encore n'est-on pas toujours sûr de réussir. Afin d'effectuer les soudures plus parfaitement, on a soin de ne pas mettre toutes les barres de la même longueur, ce qui fait qu'on les rapporte les unes après les autres ou par quarts de section à la fois.

7° *Entablement.*

L'entablement moyen-âge, analogue à celui du *Bristish Queen*, se compose de 2 flasques principales $k\,k'$ parallèles et de 2 pièces seulement, dont la séparation est en $l\,l'$. Il fallait avoir à sa disposition l'immense fonderie du *Creusot* pour oser concevoir ces gigantesques moulages, et nous ne doutons nullement qu'ils n'y réussissent parfaitement. Les liaisons transversales se font par les traverses $m\,m'\,m''$ composées de 2 parties : l'une en fonte et extérieure, résistant au rapprochement des flasques ; l'autre en fer, intérieure, constituant des boulons à écrous serrés fortement et empêchant l'écartement.

Discussion théorique.

Le diamètre $1^m.93$ du cylindre à vapeur à détente variable des $^2/_3$ au $^4/_5$, c'est-à-dire en moyenne au $^3/_4$ de la course, a été basé sur une vitesse moyenne du piston que l'on obtiendra par la formule :

$$T^m = K\,V\,h \times 1000 \left(1 + \log.\frac{v}{z}\ 2.3026 - \frac{v}{z}\,\frac{h'}{h}\right)$$

T^m = 225 chevaux $\times$ 75 kilogramètres = 16875 kilogramètres.

K = coefficient de l'effet utile.

$V = 0.785\,(1.93)^2 \times z.$

$z = 0.75\,v.$

v = vitesse du piston $= \dfrac{2\,C\,n}{60}$

h = $10^{m}.32$ d'eau (pression minima).

h' = pression dans le condenseur $= \dfrac{h}{16}$

C = course du piston = $2^{m}.28$.

n = nombre de coups de piston par minute.

Donc :

$$16875 = \mathrm{K} \times 0.785 \times (1^{m}.93)^{2} \times 0.75\ \frac{2 \times 2.28\,n}{60}\ 10320$$

$$\left(1 + \log.\ \frac{1}{0.75}\ 2.3026 - \frac{1}{0.75}\ \frac{1}{16}\right)$$

Cette équation contient deux inconnues, k et n; résolvant par rapport à la dernière n, il vient :

$$n = \frac{16875}{\mathrm{K} \times 1727\ (1 + 0.285 - 0.083)}$$

$$n = \frac{16875}{2570\ \mathrm{K}} = \frac{8.1}{\mathrm{K}}$$

Déterminant K au frein dynamométrique :

	Tours.	
Pour K = 0.40, on aura	n = 20.25 par′,	et v = $1^{m}.54$ par″
0.45	18.00	1 .37
0.50	16.20	1 .23
0.55	14.70	1 .12
0.60	13.50	1 .125

La pression de la vapeur restant constante sur le piston, c'est-à-dire $10^{m}.32$ d'eau, il en résulte que la résistance devra varier suivant les différentes valeurs de k; c'est ce que l'on obtient en faisant varier la section des aubes sur place.

Dans ces divers cas, la dépense théorique de vapeur, par seconde, sera :

1° *En volume.*

$$\mathrm{V} = 0.785\ (1{,}93)^{2} \times 0.75\ v = 2.2\ v.$$

2° En poids.

$$2.2\ v\ \frac{1000}{1700} = 1.295\ v \text{ kilog.}$$

D'où, pour :

	Dépense en vapeur par "
K = 0.40	2.00 kil.
0.45	1.78
0.50	1.59
0.55	1.45
0.60	1.33

En admettant des productions de vapeur utile par chaque kilog. de houille, égales à 4, 4.5, 5, 5.5, et 6 kilog., on aura :

Dépense en combustible par heure.

VALEUR DE *K*.	VAPEUR UTILE PAR KILOGRAMME DE HOUILLE.				
	kil. 4	kil. 4.5	kil. 5	kil. 5.5	kil. 6
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
K = 0.40. . . .	1800	1600	1440	1310	1200
0.45. . . .	1600	1420	1280	1160	1070
0.50. . . .	1430	1275	1140	1040	950
0.55. . . .	1300	1160	1040	945	865
0.60. . . .	1200	1065	960	870	800

et :

Dépense en combustible par cheval et par heure.

VALEUR DE *K*.	VAPEUR PAR KILOGRAMME DE HOUILLE.				
	kil. 4	kil. 4.5	kil. 5	kil. 5.5	kil. 6
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
K = 0.40. . . .	8.00	7.10	6.40	5.85	5.32
0.45. . . .	7.10	6.30	5.70	5.15	4.75
0.50. . . .	6.35	5.65	5.08	4.62	4.22
0.55. . . .	5.80	5.15	4.62	4.20	3.85
0.60. . . .	5.32	4.75	4.27	3.87	3.56

APPAREILS DE 220 CHEVAUX. — LE PLUTON.

Il se compose de deux machines de la force chacune de 110 chevaux.

Ces machines, représentées Pl. XVIII, fig. 1 et 2, ont les dimensions principales suivantes :

		mèt.
Diamètre du piston à vapeur		1.40
Course des pistons à vapeur		1.68
Longueur des balanciers		4.73
Longueur de la bielle		3.89
Diamètre de la pompe à air		0.79
Course des tiroirs		0.25
Dimensions des lumières.	Largeur	0.53
	Hauteur	0.12
Hauteur du plein		0.18

Leur jeu est, à peu de chose près, le même que celui des appareils de 450 chevaux, nous ne croyons donc pas nécessaire de réitérer l'explication que nous avons donnée sur celui de ces dernières. Ce, sur quoi nous insisterons principalement, c'est la disposition des parties et l'exécution des pièces.

A cet effet, nous diviserons chaque machine en sept parties principales, savoir :

1° La plaque de fondation ;
2° Le cylindre à vapeur ;
3° La distribution ;
4° La condensation ;
5° L'alimentation ;
6° La transmission du mouvement ;
7° L'entablement.

1° *Plaque de fondation.*

DISPOSITION.

Comme dans *le Véloce* et le projet des machines de 450 chevaux, elle sert à la fois de fond au cylindre et de bâche inférieure au condenseur et à la pompe à air. Coulée sur une épaisseur de 5 centimètres, elle est maintenue inflexible par 2 nervures inférieures longitudinales placées au-dessous des colonnes qui supportent l'arbre moteur. Le condenseur occupant toute la place comprise entre la distribution et la pompe à air, il n'est pas possible de visiter le clapet infé-

rieur de cette dernière par un regard extérieur ; cette visite alors s'opère par un regard placé dans le condenseur même, ce qui met le mécanicien dans la nécessité d'y entrer pour pénétrer jusqu'au clapet, disposition peu commode, mais à laquelle il a fallu se conformer, puisqu'elle existe dans *le Véloce* dont les plans ont été donnés comme modèles à suivre.

EXÉCUTION.

Bien que des pièces de cette dimension soient loin d'être faciles à obtenir du premier coup, il n'est nullement étonnant qu'elles aient parfaitement réussi dans une fonderie aussi bien organisée que celle du *Creusot*. Elles ont été coulées en sable vert, genre de fonderie dont les progrès sont si rapides depuis quelque temps et qui donne de si beaux résultats. La face supérieure est rabotée sur toute sa longueur pour recevoir les parties des pièces qui s'assemblent avec elle. Le plus grand travail qu'elles ont eu à supporter, c'est ce rabotage qui, malgré les dimensions énormes de la machine à raboter, s'est exécuté en deux fois.

2° *Cylindre à vapeur.*

DISPOSITION.

Le cylindre à vapeur comprend :

Le cylindre et son couvercle,

Le piston et sa tige.

Le cylindre possède à sa base 4 fortes oreilles dans lesquelles viennent se loger 4 boulons de fondation en cuivre traversant la carène du navire et serrés en dessus. A la bride supérieure est un avant-corps plat à portées burinées, sur lequel vient buter l'entablement, de manière à consolider les supports de l'arbre des roues et à maintenir fixe leur distance au cylindre.

Le couvercle est à deux faces et d'un seul morceau, dans le double but de résister aux chocs accidentels du piston et de ralentir le refroidissement de la vapeur par le bourrelet d'air renfermé dans son intérieur. En dessus et en dessous du piston, les faces des fonds du cylindre sont bombées et garnies chacune d'une petite soupape de sûreté pour l'évacuation de l'eau qui pourrait s'y trouver ramassée. Le piston, d'un seul morceau, à garniture métallique, est bombé sur les deux faces comme les fonds, de manière à donner plus d'encastrement à sa tige, sans augmenter l'épaisseur de

l'anneau de contact, ce qui augmenterait la hauteur du cylindre, et d'atténuer les chocs provenant d'un excès d'eau condensée dans l'intérieur.

EXÉCUTION.

Les cylindres à vapeur, pièces d'une difficulté notable, à cause de leur grande dimension, ont été coulés en sable d'étuve; ils ont été alésés horizontalement, mais avec tant de précaution, que la courbure résultant de la dépression de la surface supérieure est presque insensible; ils sont sans la moindre soufflure. Les portées des tubulures, pour s'assembler avec les plates-formes des tiroirs, ont été dressées au burin. Ainsi, deux modifications seront apportées dans les machines des appareils de 450 chevaux : les cylindres seront alésés verticalement et les portées des tubulures rabotées; cela, parce que la commande a été assez importante pour que les mécaniciens se mettent en frais de nouveaux outils dont la valeur, pour ces deux opérations seulement, n'est pas moindre de 25,000 fr.; tant il est vrai qu'il est préférable, pour avoir de bons résultats dans des cas comme celui-ci, de favoriser plutôt quelques grands ateliers prêts à faire des sacrifices, que de disséminer les commandes entre une foule de petits constructeurs qui n'ont en vue que la réalisation momentanée du plus de bénéfice possible, résultat assez fréquent des adjudications.

Les couvercles des cylindres et les pistons ne se distinguent que par leur bonne exécution, la difficulté principale est dans la pose invariable d'un noyau intérieur, sans point d'appui apparent à l'extrémité, à l'exception du trou qui sert à l'enlever quand la pièce est refroidie; ils ont été coulés, comme le cylindre, en sable d'étuve, puis tournés et alésés. Les tiges des pistons, en fer forgé de $0^{m}.14$ de diamètre et de $2^{m}.50$ de long, du poids chacune de 400 kil., sont des exemples de ces beaux résultats, que l'on obtient assez communément aujourd'hui dans les grandes forges, au moyen des marteaux mus par la vapeur.

3° *Distribution.*

DISPOSITION.

Elle s'effectue au moyen de deux tiroirs en D couché et détendant, par recouvrement extérieur, aux $^{4}/_{5}$ de la course, ce qui a l'avantage d'économiser $^{1}/_{5}$ de la vapeur employée,

sans pour cela diminuer en rien l'effet utile; c'est du moins ce que semble constater l'expérience qui en a été faite sur d'autres bateaux. Les garnitures en chanvre sont serrées sur le côté, ce qui permet de joindre les 2 boîtes à vapeur par un tuyau intermédiaire dans lequel passe sa tige, et évite l'emploi de 2 stuffing-box. Ce genre de serrage a peut-être l'inconvénient de n'être pas égal sur tous les contours du tiroir, aussi y a-t-il plusieurs constructeurs qui se refusent à l'adopter. Néanmoins, comme il présente plusieurs avantages, il ne nous paraît pas convenable de le rejeter sans en avoir la parfaite expérience. Déjà *le Véloce* contient cette disposition, et si elle eût été vicieuse, les ingénieurs de la marine se seraient bien gardés de la demander pour *le Pluton*.

Le tiroir inférieur se trouve avoir sa lumière d'introduction de 20 centimètres environ au-dessus de la plaque de fondation, d'où résulte que l'eau contenue dans le cylindre ne peut s'évacuer librement dans le condenseur quand cette dernière est ouverte. Cet inconvénient a pour but de parer à un autre beaucoup plus grave, et qui n'est rien moins que la rentrée de l'eau du condenseur dans le cylindre à chaque coup de piston, dans le mouvement dit *tangage* du navire.

EXÉCUTION.

Les tiroirs, par suite de l'action corrosive de l'eau de la mer sur la fonte, sont en bronze ainsi que la plate-forme sur laquelle ils se meuvent; les tiges sont en fer et les boîtes à vapeur en fonte, à portées ménagées dans tous les assemblages, et dressées au rabot avec le plus grand soin.

4° *Condensation*.

DISPOSITION.

Le condenseur, système de Fawcett, employé dans *le Véloce*, a subi dans *le Pluton* une importante modification, due à M. *Bourdon*. Au lieu de se trouver isolé au milieu de la machine, supportant l'arbre des balanciers qui tend sans cesse à le déranger, il est relié à l'entablement, qui passe des supports de l'arbre au cylindre et tend à détruire tous les mouvements qui pourraient se manifester par suite de l'isolement et de l'élasticité des pièces. Faute d'avoir pris cette précaution, M. Fawcett s'est trouvé moralement responsable des avaries survenues aux machines du *Véloce*,

quelque temps après sa mise en marche, c'est-à-dire la casse des entablements qui a nécessité l'adjonction de croix de Saint-André assez disgracieuses.

Dans les appareils de 450 chevaux, on a eu soin d'isoler du condenseur les supports de l'axe du balancier. Bien que la précaution n'ait pas été employée dans *le Pluton*, il ne peut néanmoins en résulter d'accident grave; la force des machines étant beaucoup moindre et l'expérience d'ailleurs n'ayant constaté l'importance de cette disposition que pour de grandes puissances.

EXÉCUTION.

Les condenseurs, boîtes carrées à deux compartiments intérieurs et fort grandes, sont des pièces très-difficiles à couler, et réussissent rarement. Aussi nous empressons-nous de dire que ceux du *Pluton* sont fort bien venus.

La pompe à air n'est pas moins remarquable; comme pour les tiroirs, on est obligé de faire en bronze le clapet, le piston, et même le corps intérieur. Ce dernier, qui est si difficile à obtenir d'un seul morceau et mince sans soufflures, et s'assemble si difficilement avec le corps extérieur, lorsque l'on n'a pas soin de le fendre suivant une arête pour passer une douelle de serrage, a été exécuté d'une façon tout-à-fait neuve, et aussi remarquable par sa solidité que par sa simplicité. Elle consiste à le composer de plusieurs douelles concaves à saillies extérieures vers les extrémités, qui se logent dans des rainures pratiquées au corps de pompe en fonte, sauf une de serrage dont les joints sont légèrement inclinés, et qui se fixe ensuite au marteau, par refoulement. Après cette opération, vient l'alésage qui, quand les joints sont bien faits, les rend imperceptibles à l'œil. On voit que, par ce moyen, il est facile d'éliminer toutes les douelles qui sont venues à la fonderie avec des soufflures, et composer un corps de pompe parfait.

5° *Alimentation.*

L'alimentation n'a rien d'extraordinaire dans sa disposition ni son exécution, en ce qui concerne la machine proprement dite. Aux chaudières, elle présente cela de remarquable, qu'il y a une pompe qui épuise constamment les eaux inférieures, c'est-à-dire les plus saturées de sel, cela après que ces dernières ont passé par de petits tuyaux en fonte, traversant un bac dans lequel se jette une partie de l'eau sortant

du condenseur à 40°, et qui se chauffe ainsi à 100° environ, avant de passer à la pompe alimentaire.

6° *Transmission du mouvement.*

EXÉCUTION.

Deux traverses en fer forgé, 1 parallélogramme double en fer forgé, 2 balanciers en fonte avec axe en fer; 3 bielles, 2 manivelles et 1 arbre en fer forgé, telles sont les pièces qui constituent cette partie importante et si difficile à exécuter.

Les balanciers coulés en sable vert, sont d'une beauté remarquable; pas une soufflure ne les dépare, et les flasques sont lisses et brillantes comme une glace.

Les tiges du parallélogramme, les traverses et les bielles, toutes pièces lourdes et difficiles, sont finies avec une admirable précision. Les manivelles, ces masses de fer si incommodes à souder, ne présentent pas la moindre paille; enfin, l'arbre, composé de tant de barres de fer réunies, semble n'avoir jamais été que d'un seul morceau.

7° *Entablement.*

DISPOSITION.

Il se compose, pour chaque machine, de 2 flasques, portant chacune sur 2 colonnes doriques inférieures, avec lesquelles elles s'assemblent au moyen de longs boulons, passant par les petites colonnes figurées supérieurement, coulées avec des flasques, et serrant en dessous de la plaque de fondation. Ces flasques, comme nous avons dit plus haut, vont porter sur la bride du cylindre à vapeur et sur le condenseur. Elles sont reliées transversalement par des balustres en fer, serrant à écrous, de chaque côté, en dehors.

EXÉCUTION.

Tout l'entablement a été coulé en sable vert, y compris les quatre colonnes inférieures, et comme tout le reste, parfaitement venu.

REMARQUE.

C'est un excellent système, sans contredit, que celui adopté par MM. les ingénieurs de la marine royale, de donner comme modèles à nos constructeurs de machines les meilleurs appareils que nous a fournis l'Angleterre.

Mais n'en résulte-t-il pas un vice que nous avons déjà signalé pour les locomotives, consistant dans l'indétermination des dimensions convenables à une force déterminée, et

de là désordre et dépenses inutiles aussi bien dans la construction que dans les réparations ?

L'industrie des machines à vapeur, particulièrement dans ses applications à la navigation, est neuve en Angleterre comme en France. De là, pas de données suffisantes, dira-t-on, pour avoir pu établir des bases dans les rapports des dimensions et formes de toutes les pièces, seul moyen d'arriver à la *fabrication*. A notre avis, ces données n'étaient pas primitivement indispensables et ne doivent s'accepter aujourd'hui que parce qu'elles existent et accusent un progrès de vingt années que l'on aurait pu faire en cinq, en suivant une tout autre marche, dont Watt avait jeté les bases, et de laquelle chacun est parti en digressant à sa guise. En un mot, il n'y a eu que très-léger abaissement dans le prix de revient des machines, parce que, après avoir adopté un point de départ commun, les constructeurs, au lieu de progresser simultanément, ont voulu chacun jeter les fondements de systèmes nouveaux. Cela a eu pour résultat, il est vrai, une expérience très-grande des machines à vapeur; mais, malheureusement, expérience aussi disséminée que grande et impossible à recueillir pour en extraire le moindre principe; aussi ne peut-on constater aujourd'hui que des dépenses considérables et fort peu de bénéfices pour ces derniers.

Tel est l'état actuel des machines à vapeur et tel il promet d'être longtemps encore; tous les jours des rames de papier se couvrent de calculs pour cet objet; tous les jours aussi des monceaux de fonte, fer et cuivre se convertissent en pièces de machines. Les mécaniciens de bureau fabriquent des théories que ne lisent pas les mécaniciens d'atelier; les mécaniciens d'atelier bâtisssent, sans principe, des machines que les premiers regardent, par cela même, comme indignes de leur examen.

Tout cela est vrai, dira-t-on, mais que faire? A cela nous répondrons :

1° Adopter des dimensions proportionnelles entre les pièces principales des machines;

2° Classer les machines en un certain nombre de dimensions déterminées, comprenant toutes les puissances dont on aura besoin;

3° Décomposer les machines en pièces générales et pièces spéciales;

4° Adopter un type, pour chaque espèce, résultant de

l'étude de tout ce que l'on possède de données éparses jusqu'à présent, et qu'il faut réunir;

5° Partir de ce type pour tous les perfectionnements et changements que l'on croira devoir y apporter;

6° Publier, à certaines époques, les modifications apportées au type primitif, c'est-à-dire publier de nouveaux types résultant des changements et modifications que l'expérience générale centralisée aura jugé nécessaire d'apporter.

De là résulteront les avantages suivants :

Pour les constructeurs.

1° On ne verra pas dix constructeurs, dans dix localités différentes, suivre la même fausse route, à dix époques différentes, comme cela a lieu aujourd'hui;

2° La possibilité de faire servir les mêmes modèles plusieurs fois amènera une baisse dans les prix et une classification forcée des ateliers suivant les dimensions de machines à construire;

3° L'approvisionnement des outils spéciaux pour pièces générales aura lieu une fois seulement pour toutes, au lieu d'absorber un bon tiers du temps employé par les ouvriers à confectionner les pièces.

Pour les ateliers de réparation.

1° L'approvisionnement des outils spéciaux pour pièces générales ayant aussi lieu une fois pour toutes, il y aura économie de moitié dans les frais de réparation, tant parce que ces outils serviront plusieurs fois, que parce que les ouvriers ne perdront plus la majeure partie de leur temps à les confectionner pour chaque pièce à réparer; enfin il y aura économie de temps, les réparations se faisant plus promptement;

2° Une machine étant au rebut, on en extraira les pièces générales et spéciales encore bonnes, pour porter les premières sur n'importe quelle machine qui en aura besoin; les secondes sur une machine de même force à réparer ou à construire.

Voici pour le cas général; envisageons maintenant le cas particulier de la marine royale.

Il n'est pas possible, dira-t-on, d'avoir aujourd'hui de machine type; trois constructeurs anglais, faisant fort bien, ont chacun un système différent. Cela est vrai; mais bien qu'on ait déjà eu l'esprit d'extraire de chacun d'eux ce qu'il présentait de meilleur, comme l'accuse le projet de M. Bour-

TABLEAU des di[...]s à vapeur, à

[...]RS.

DIAMÈTRE DES CYLINDRES.	DIAMÈTRES des pompes à air.	DIAMÈTRES des pompes alimentaires.	Capacité du condenseur.	[DIA]MÈTRES [des t]ourillons au 1/4.	[DIA]MÈTRES [des t]ourillons au milieu.	Longueur des bielles.
Mèt.	Mèt.	Mill.	Mèt.	Mill.	Mill.	Mèt
0.50	0.275	50	1.50	25	75	1.5
0.60	0.330	60	1.75	30	90	1.8
0.70	0.385	70	2.00	35	110	2.1
0.80	0.440	80	2.25	40	120	2.4
0.90	0.495	90	2.50	45	140	2.7
1.00	0.550	100	2.75	50	150	3.[...]
1.20	0.660	120	3.00	60	180	3.[...]
1.40	0.770	140	3.25	70	210	4.[...]
1.60	0.880	160	3.50	80	240	4.[...]
1.80	0.980	180	3.75	90	270	5.[...]
2.00	1.100	200	4.00	100	300	6.[...]
2.20	1.210	220	4.25	110	330	6.[...]
2.40	1.320	240	4.50	120	360	7[...]
2.60	1.430	260	4.75	130	400	7.[...]
2.80	1.540	280	5.00	140	425	8[...]
3.00	1.650	300	5.25	150	450	9[...]

Machines Locomot[...]

…ur les appareils de 450 chevaux, nous dirons que la …on peut aujourd'hui se résoudre sous le simple point de …ivant :

…Adopter des dimensions proportionnelles entre les …pales pièces ;

…Déterminer la série des puissances différentes de ma…s que l'on emploiera.

…ici comment, pour notre part, nous résolvons la pre…e, après nous être enquis des dimensions de plus de …ante bateaux, reconnus pour leur bonne marche et l'é…mie du combustible qu'ils réalisent.

Dimensions proportionnelles.

Diamètre du cylindre à vapeur		1.00
— de la pompe à air		0.55
— de la pompe alimentaire		0.10
Lumière du cylindre.	Longueur	0.40
	Largeur	0.08
(Pour détente à la fin), largeur du plein		0.12
Clapets de la pompe à air.	Longueur	0.50
	Largeur	0.16
Course du piston à vapeur		1.20
id. *id.* à air		0.60
Longueur du balancier		3.60
Longueur de la bielle		3.00
Tige du piston à vapeur, diamètre		0.10
id. *id.* pompe à air, *id.*		0.06
Axes du balancier, 1° extrême, *id.*		0.08
2° au milieu *id.*		0.15
3° au $^1/_4$, *id.*		0.05
Arbres des roues, diamètre des tourillons		0.24
Boutons des manivelles, diamètres		0.18

Que l'on rejette ces dimensions comme mauvaises, qu'on en propose et adopte d'autres meilleures, peu nous importe, mais qu'on en adopte.

Voici comment nous résolvons la seconde question :

Diamètre des pistons à vapeur.

0m.50, 0m.60, 0m.70, 0m.80, 0m.90, 1m.00, 1m.20, 1m.40, 1m.60, 1m.80, 2m.00, 2m.20, 2m.40, 2m.60, 2m.80, 3m.00.

(*Voir le Tableau ci-contre.*)

CROCHET D'EXCENTRIQUE ET APPAREIL DE DÉTENTE VARIABLE POUR MACHINES A VAPEUR D'EXTRACTION DANS LES MINES DE HOUILLE.

Lorsqu'une machine à vapeur est destinée à l'extraction dans les mines, elle doit satisfaire à deux conditions principales, savoir :

1° Pouvoir alternativement faire tourner l'arbre moteur dans les deux sens ;

2° Imprimer à la *benne* une vitesse à peu près uniforme.

La première de ces conditions se remplit au moyen de l'excentrique dont le levier est muni de deux boutons opposés de chaque côté de l'arbre du tiroir, et sur lesquels le mécanicien place le crochet suivant le sens du mouvement qu'il veut imprimer à la benne. Lorsque les machines, le plus souvent horizontales comme étant les plus simples, sont de la force de 6 à 8 chevaux, le décrochage de l'excentrique, bien qu'un peu dur, se fait encore avec assez de facilité ; seulement il ne permet pas de laisser reposer ce crochet sur l'un des boutons du levier, pendant sa manœuvre à la main pour le déchargement de la benne, car le crochet se rembrayant, l'empêcherait d'agir. Mais, lorsque les machines dépassent 10 chevaux, non-seulement le désembrayage du crochet est dur, non-seulement il faut supporter un poids très-lourd pendant la manœuvre à la main, mais cette manœuvre elle-même est très-fatigante en raison de l'augmentation de la dimensions des tiroirs.

Pour rendre le désembrayage instantané, éviter au mécanicien de supporter le demi-poids de la barre d'excentrique pendant la manœuvre à la main, et lui permettre de faire cette dernière avec les deux mains, on emploie divers appareils qui tous ont pour but de remplir momentanément l'espace occupé par le bouton dans le crochet d'excentrique, et de leur permettre par conséquent de glisser, sans embrayer l'un sur l'autre.

Ayant participé à la confection d'un assez grand nombre de machines de ce genre, nous avons cru pouvoir substituer avec avantage, au crochet d'excentrique à ressort généralement employé, celui représenté fig. 35, Pl. XVIII.

Ce crochet, d'une excécution un peu difficile, il est vrai, a présenté dans la pratique les avantages suivants.

1° Il se manœuvre avec une extrême facilité et abandonne instantanément le bouton du levier.

2° La poignée du bras mobile, sans sortir de la main du mécanicien, sert à la fois à manœuvrer ce bras et à effectuer le changement de bouton.

Nous n'entreprendrons pas le panégyrique de notre œuvre ; nous dirons seulement que, depuis lors, il a été exclusivement adopté par l'usine où nous l'avons fait exécuter.

Voici les proportions dans lesquellles nous l'exécutons.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	FORCES EN CHEVAUX.					
	8	10	12	16	20	25
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Diamètre du bouton.	0.030	0.030	0.035	0.035	0.040	0.040
Longueur du bouton et largeur totale du crochet. . .	0.036	0.036	0.042	0.042	0.048	0.048
Epaisseur du levier mobile. . .	0.010	0.010	0.012	0.012	0.015	0.015
Hauteur de la section du crochet.	0 030	0.030	0.035	0.035	0.040	0.040
Diamètre du bout taraudé.	0.021	0.021	0.025	0.025	0.030	0.030
Diamètre du gros boulon.	0.015	0.015	0.018	0.018	0.021	0.021
Diamètre du petit boulon.	0.008	0.008	0.010	0.010	0.012	0.012

La longueur du plat sous lequel se promène le bouton est égale à deux fois la course de ce dernier.

La seconde condition se remplit ordinairement au moyen d'une valve à papillon, dont le levier, sans cesse sous la main du machiniste, règle l'entrée de la vapeur dans le cylindre et fait agir cette dernière sur le piston à une pression proportionnelle à la résistance qu'il faut vaincre.

Cette disposition présente, comme tous les propriétaires de mines le confessent, l'inconvénient unique de leur faire dépenser une plus grande quantité de charbon ; mais comme la plupart en ont toujours de reste, sur les puits, dont ils ne sauraient que faire, ils ne consentent pas à des modifications coûteuses qui tendraient à leur apporter une économie dans la consommation en combustible. C'est pour cette raison que

nous n'avons pas encore eu l'occasion d'adapter le mode de détente dont nous allons parler, aux machines de mines, bien qu'il soit peu dispendieux et qu'il ait parfaitement réussi sur une douzaine de machines à balancier, pour usines. Parmi ces dernières, nous citerons seulement les deux de MM. Picard frères, d'Avignon, qui nous ont été exclusivement confiées.

La détente par les tiroirs superposés, fig. 4, 5, 6, Pl. XVIII, et dont nous avons parlé succinctement dans nos articles sur les locomotives, se compose de :

1° Un premier tiroir (*a*), se mouvant sur la plate-forme des *lumières* et différant des tirois ordinaires par les deux conduits (*b*) et (*b'*) suivis de recouvrements qui ne permettent à la vapeur de pénétrer dans le cylindre qu'en passant par ces conduits.

2° Un second tiroir, dit *tuile* (*c*), superposé au premier et susceptible de se mouvoir dessus parallèlement à la plate-forme, dans le sens longitudinal seulement, retenu transversalement par les baguettes élastiques (*d*, *d'*) qui le pressent en même temps légèrement contre le premier, de manière que, vertical, son adhérence soit égale à son poids au moins.

3° Un taquet en fer (*e*), représenté à part, fig. 7, et fixé à un axe mobile dans un stuffing-box en bronze (*f*). Sa forme se compose de deux courbes opposées dont les rayons de courbure extrêmes diffèrent entre eux de la largeur d'un conduit (*b*). Le petit rayon est déterminé de manière que, quand le cylindre est à la moitié de sa course, l'un des conduits (*b*) ou (*b'*) est fermé avec recouvrement extérieur de 2 millimètres. Il suit de là que, quand le taquet présente à la tuile son petit rayon, la détente a lieu à la moitié de la course; et quand il présente son grand rayon, elle a lieu environ au $^1/_8$. Il serait impossible d'établir une plus grande différence entre les rayons extrêmes que la largeur des conduits (*b*); car alors la vapeur rentrerait à la fin de la course.

Le taquet est mû par un levier que tient à la main le mécanicien, ou qui, pour machines à mouvement non interrompu, communique, comme dans les fig. 4 et 6, avec le pendule conique. Il est bon, dans ce dernier cas, de rendre le bras de levier variable à volonté, afin de proportionner les oscillations du taquet aux variations de vitesse.

Au moyen de cette détente, la valve de gorge devient inutile, et la pression de la vapeur, à son entrée dans le cy-

lindre, est constante et *maxima*, condition indispensable pour économiser le plus de combustible possible.

La largeur des lumières est double de celle des conduits du tiroir inférieur, ce, afin que la communication de la chaudière avec le cylindre puisse être fermée avant que le tiroir soit à la fin de sa course. De là suit que, que pour détendre aux $^2/_3$, aux $^3/_4$, aux $^4/_5$, etc., il faut que la largeur des lumières soit 3, 4 et 5 fois égales à celle du conduit du tiroir.

EMPLOI DE LA VIS D'ARCHIMÈDE DANS LES BATIMENTS A VAPEUR.

Jusqu'ici les roues à palettes de formes diverses ont été les seuls appareils employés pour faire mouvoir les bâtiments à vapeur; et, malgré leurs inconvénients bien sentis par tous les constructeurs et par tous les hommes de mer, on n'avait pas encore trouvé de disposition qui pût avantageusement les remplacer. Cette importante question, si longtemps en suspens, vient enfin d'être résolue d'une manière assez heureuse par l'emploi d'une vis d'un grand diamètre, entièrement immergée, et recevant de la machine à vapeur un mouvement de rotation sur elle-même qui fait avancer le navire.

L'application de la vis n'est pas une idée neuve en elle-même. Il y a longtemps qu'elle a été employée pour recueillir et transmettre la force d'un courant d'eau. Les effets obtenus ont toujours été très-faibles, il est vrai, mais ils étaient suffisants pour donner à penser qu'on pourrait l'utiliser pour transmettre des forces destinées à agir sur un liquide : il ne s'agissait plus que de trouver le meilleur mode d'application.

Les premiers essais, parmi lesquels on mentionne ceux que fit en 1819 M. Richard Whytock, d'Edimbourg, ont tous été imparfaits, et par conséquent infructueux. La question ne pouvait s'éclairer que par une expérience complète, faite avec tous les soins que réclame son importance et dans les conditions d'art les plus favorables à son succès. M. Smith, dont le brevet date du mois de mai 1836, est, à notre connaissance, le seul industriel qui ait fait tous les sacrifices et tous les efforts nécessaires pour arriver à des expériences concluantes, et ses succès, d'abord assez incertains, et fortement contestés par ses rivaux et les partisans absolus des *Paddle Wheels*, ou roues à aubes, sont aujourd'hui

fondés sur des bases qui laissent peu de prise à ses détracteurs.

M. Smith a établi ses appareils dans un bâtiment de la force de 80 chevaux environ, qu'il a fait construire dans le seul but de faire ses essais avec une entière liberté, et de donner bientôt à tous des preuves incontestables de la valeur de sa découverte. Il fut longtemps incertain sur les meilleures formes à donner à la vis qu'il voulait employer, et ce ne fut que par tâtonnement qu'il arriva à déterminer les dimensions qui cadraient le mieux avec le tirant d'eau de son navire et la forme de ses machines.

C'est ainsi qu'après avoir d'abord mis en usage une vis de 7 pieds anglais de diamètre et de 8 pieds de long, dans laquelle le filet faisait une révolution complète autour de l'axe (fig. 8, Pl. XVIII), il reconnut que sa machine manquait de force pour faire mouvoir cet appareil, et le diamètre fut réduit à 5p. 1°.

La révolution complète du filet fut plus tard remplacée par deux demi-révolutions, occupant un espace deux fois moindre en longueur, sans diminuer la surface d'action des filets sur le fluide, et l'on s'en est tenu au diamètre de 5p 9° avec une longueur de 4p (fig. 9). La longueur de la vis pourrait encore se réduire à des dimensions moitié plus petites, sans atténuer son action, en adoptant quatre segments au lieu de deux, mais on a jugé inutile d'en arriver jusque-là. Quant à l'angle d'inclinaison des filets sur l'eau, on l'a fait varier depuis 30° jusqu'à 50°, et l'on s'en est tenu définitivement à un angle de 45° que l'on regarde comme le plus favorable à l'égalité d'action des différentes parties du filet sur le milieu environnant; la surface des filets est le quart de la section immergée, en supposant une coupe faite au milieu du bâtiment perpendiculairement à sa longueur. Ainsi, pour un navire tirant 10 pieds d'eau, et présentant une section immergée de 143 pieds carrés, on pourrait adopter une surface de filets de 35 pieds carrés (il est entendu que par surface des filets, nous n'entendons pas la surface développée, mais seulement la surface projetée sur un plan perpendiculaire à l'axe); enfin, on a calculé que pour un fort navire jaugeant environ 3,000 tonneaux, il suffirait d'avoir une vis de :

11 pieds de diamètre,
de 5 — 6 p. de longueur en 2 segments.
ou de 3 p. *id.* en 4 segments.

L'espace occupé par ce genre d'appareil est, comme on le voit, bien faible, en raison de sa puissance, et se trouve bien loin d'atteindre l'énorme volume que présentent les roues à palettes.

La vitesse que l'on doit imprimer à la vis, est un élément essentiel dans le calcul des machines de ces bateaux, et il est de la plus haute importance de déterminer cette force par laquelle on obtient le maximum d'effet utile; malheureusement on a fait peu d'expériences à cet égard, et la question n'est pas résolue. Dans le bâtiment *l'Archimède*, construit par M. Smith, la vis à laquelle le mouvement de la machine est transmis par des engrenages, fait 5 tours $^1/_3$ par tour de manivelle, ce qui fait 138 tours $^2/_3$ par minute, la manivelle faisant ordinairement 26 révolutions; dans un bâtiment nouveau que l'on construit en ce moment, la vis fera 200 révolutions par minute. M. Smith a placé son appareil à l'arrière du bâtiment, tout près du gouvernail, et de telle sorte que le sommet de la vis se trouve à 2 pieds au-dessous de la surface de l'eau; cette position présente l'avantage d'augmenter beaucoup l'action du gouvernail, et de faire suivre au bâtiment une ligne parfaitement droite.

La vis exige une construction très-solide et très-soignée : on fait l'arbre en fer forgé afin de lui donner le moins de diamètre possible, et les filets sont en bonne tôle d'environ 7 millimètres d'épaisseur; ces dimensions, convenables pour *l'Archimède*, doivent naturellement être proportionnées à la puissance du moteur.

On avait quelques précautions à prendre pour préserver la vis d'oxidation; si on l'appliquait à un navire doublé en cuivre, l'action galvanique résultant de la présence de ces deux métaux, la ruinerait promptement; le meilleur moyen d'éviter cet effet, serait de l'armer convenablement avec des plaques de zinc, à moins qu'on ne puisse la construire en cuivre, ce qui présenterait sans doute des difficultés assez sérieuses. Les explications que nous venons de donner et que nous avons empruntées au rapport de M. Edward Chapell, chargé par le gouvernement, en mai 1840, d'examiner le mérite de cette invention, suffisent peut-être pour en faire sentir les avantages; mais la nouveauté du sujet nous fait un devoir de signaler les plus importants. Au point de vue de l'effet utile que l'on peut retirer des machines, la vis paraît l'emporter sur les roues à palettes. Dans ces dernières, la vi-

tesse du bâtiment est de 0.75 de celle de la roue; avec la vis, la vitesse moyenne en est de 0.833 : il y a donc avantage de 0.83 — 0.75 = 0.08, ou $^1/_{12}$ environ. Sous le rapport des dispositions, la vis présente une supériorité bien plus marquée : les roues, élargissant le navire, masquent le pont, et surchagent les hautes-œuvres. La vis, au contraire, laisse le pont parfaitement libre, permet l'établissement de batteries continues à bâbord et à tribord, et sa position dans les basses-œuvres du bâtiment favorise sa stabilité ; de plus, elle n'est jamais en vue et se trouve à l'abri du boulet, tandis que les roues des anciens steamers rendent leur emploi très-dangereux pendant un combat.

La vis fonctionne avec la même efficacité par tous les temps, et malgré les plus forts mouvements du navire, tandis que les roues perdent alors beaucoup de leur action; elles ne travaillent plus qu'alternativement, et l'une est entièrement plongée dans l'eau, où elle éprouve de très-fortes résistances, tandis que l'autre se meut presque dans le vide. A ce point de vue, la vis a un avantage immense; aussi, est-ce en sortant dans les mauvais temps que *l'Archimède* a eu le plus de succès entre les bateaux à roues qui luttaient contre lui.

Une des principales objections que l'on ait presentées à M. Smith, est celle que l'on a faite contre l'usage des engrenages qu'il est obligé d'employer pour imprimer à la vis une vitesse convenable. On la trouvera presque sans valeur en observant qu'une bonne construction peut rendre leur durée fort longue, et que, dans tous les cas, leur remplacement n'est ni dispendieux ni difficile.

Enfin, il paraît qu'en employant ce système, on obtiendrait une économie sensible dans les prix de construction ; on l'évalue à une livre sterling (25 fr.) par tonne, pour le bâtiment seul, et l'on est en droit d'espérer une réduction dans le prix de la machine.

De tous les faits que nous venons d'énoncer, on peut conclure que l'application de la vis présente des avantages notables, destinés surtout à profiter à la marine de guerre. C'est un projet qui mérite toute l'attention du gouvernement et des constructeurs, que nous ne saurions trop engager à entrer le plus tôt possible dans la nouvelle voie où marchent avec persévérance et succès nos voisins d'outre-mer.

Nous terminerons cet article en citant une partie des expériences comparatives entreprises par M. Edw. Chappell, qui a fait courir ensemble, entre Douvres et Calais, *l'Archimède* et *le Widgeon*, bâtiment à roues, et le meilleur marcheur de la station de Douvres.

NOMS des BATIMENTS	DIMENSIONS ET FORCES DES DEUX NAVIRES.					
	Tonnage.	DIAMÈTRE des cylindres.	Course.		Tirant d'eau	
		pouces.	pouc.	lig.	pieds.	pouc.
Archimède.	162	39	3	1	7	3
Widgeon.	237	37	3	»	9	4

Le *Widgeon* a, comme on le voit, une machine plus forte, moins de tirant d'eau, et jauge beaucoup moins.

1er essai. Course de 19 milles, brise légère, mer calme, sans voiles. — *L'Archimède* a filé 8 1/2 nœuds à l'heure et a perdu de 6 minutes.

En retour : Vent en tête, sans voiles.— *L'Archimède* a filé 7 1/2 à 8 nœuds et a perdu de 10 minutes.

2e essai. Course de 19 milles (Douvres à Calais). Mer très-calme.

L'Archimède a filé 8 1/2 à 9 nœuds. Il a perdu de 3 minutes 1/2, et a fait le trajet en 2 heures 9′ 1/2.

En retour. Il a perdu de 4′.

3e essai. Même parcours. Fraîche brise à l'est. Mer assez calme. Plusieurs voiles. *L'Archimède* a filé 9 à 9 1/2 nœuds, et a gagné de 9′. — Il a fait le trajet en 2 h. 1′.

En retour. Il a gagné de 5′ 1/2, et a fait la traversée en 1 heure 53′.

On voit que malgré l'infériorité de ses machines, son excès de tirant d'eau et de tonnage, *l'Archimède* a soutenu

la lutte avec beaucoup de succès ; nous devons observer que ses avantages dans le troisième essai tiennent en grande partie à ce que ce bâtiment est très-fin voilier.

Depuis cette époque, *l'Archimède* a fait le tour des côtes d'Angleterre. La moyenne de sa marche a été de près de 9 milles marins à l'heure, et il a eu, la plupart du temps, à lutter contre une mer houleuse et des vents peu favorables.

Explication des Figures.

Fig. 8. Vis à révolution complète, vue de côté.
Fig. 9. Vis à demi-révolution, vue de côté.
Fig. 10. Vue en poupe.

A ensemble de la vis, B arbre, C ouverture dans les œuvres mortes, F œuvres mortes du bâtiment, G pièce en fer supportant la vis, H stuffing-box.

LE GREAT-WESTERN.

On construit actuellement à Bristol, aux frais d'une compagnie, un bâtiment à vapeur en fer énorme, appelé *Great-Western*, et dont les principales dimensions seront 95 mètres de longueur, 13 mètres de largeur, 9m.75 de profondeur, avec une capacité de 2,500 tonneaux, et des machines de la force totale de 1000 chevaux. Les machines, au nombre de deux, ont des cylindres de 3m.048 de diamètre et autant de course de piston, et par conséquent, en calculant à raison de 0 k. 500 sur chaque centimètre quarré de piston, et en supposant que la vitesse est de 73 mètres par minute, ce serait une force de 1151,5 chevaux de vapeur qu'il convient de réduire à 1,075 à cause du mode de construction. Ces machines, y compris les chaudières remplies d'eau, sont du poids de 800 tonneaux, en y ajoutant le poids de la carcasse, des bordages, des mâts, des cabines, des apparaux, canots, etc., 1,100 tonneaux ; celui du combustible nécessaire pour aller de Bristol à New-York, 1,600 tonneaux, on a un total, sans charge, de 3,500 tonneaux. Les roues ont 11 mètres de diamètre et 32 aubes de 4m.57 de longueur, et 1m.22 de largeur. Les frais de construction de ce bâtiment s'élèveront à 2,375,000 fr. ; la compagnie qui l'a entreprise dans un chantier et des ateliers qu'elle a montés exprès, a dépensé, dit-on, en tout, plus de 5,400,000 fr.

On a adopté, pour les machines à vapeur du *Great-Western*, un modèle particulier auquel on a donné le nom de *machine à coffre* ou à gouttières (*trough* ou *trunk engine*), qui ont été inventées, à ce qu'il paraît, par M. Broderip, mort en 1828, époque à laquelle son exécuteur testamentaire, le colonel d'Arcy, prit pour cet objet une patente en Angleterre. Depuis, c'est-à-dire en 1835, M. Fr. Humphrys s'est fait patenter pour une disposition en tout semblable à celle de l'inventeur original, et qui est précisément celle qui va être appliquée au *Great-Western;* cette disposition avait déjà, à ce qu'il paraît, été mise à l'épreuve sur un bâtiment appelé le *Dartford*, lors de la publication de la patente du colonel d'Arcy, mais sans grand succès, et elle a fait l'objet d'une contestation assez vive entre les constructeurs anglais, sans que la question soit encore complètement résolue.

Nous avons représenté dans la fig. 11, planche XVIII, la coupe d'un cylindre avec son piston, la bielle et la manivelle d'une machine à coffre. Dans cette figure A A est le cylindre; B B le piston; C, une cavité creusée dans le piston et au centre de laquelle est articulée la tige D D de ce piston. Cette tige, dans la figure, est représentée sous le plus grand angle qu'elle puisse prendre pendant le mouvement de la manivelle G. E E est une boîte à étoupes rectangulaire, placée sur le sommet du cylindre, et dans laquelle glisse le coffre creux K K, solidement fixé sur le piston, et d'une largeur suffisante pour permettre à la tige du piston d'osciller librement de part et d'autre de la verticale. Ce coffre a une figure rectangulaire, arrondie sur ses petits côtés, ainsi qu'on le voit dans la figure 12, et monte et descend dans sa boîte à étoupes avec le piston.

Les machines à coffre ont principalement pour but de faire communiquer directement, et sans joints brisés, le piston avec la manivelle, ce qui change immédiatement le mouvement alternatif de ce piston en un mouvement de rotation continu sans l'intervention des balanciers, des parallélogrammes et autres pièces auxiliaires employées ordinairement pour cet objet. Les constructeurs anglais les plus distingués, tels que MM. Maudslay, Miller, Bolton, Acraman, Seaward, Fawcett, Napier, etc., sont peu favorables à ce genre de machines, et l'essai qui en a été fait à bord du *Dartford* semble appuyer leur opinion à cet égard; néanmoins, voilà une expérience en grand qui va se faire sous

la direction de M. J. Scott Russel, et le *Great-Western* nous apprendra ce qu'il faut attendre de ce mode de construction des machines à vapeur marines.

En attendant, nous pouvons signaler diverses imperfections dans ce mode de construction, qui probablement ont été le motif de l'antipathie manifestée pour lui par les habiles ingénieurs que nous venons de citer. Voici les principales de ces imperfections :

1° Le coffre ou gouttière a une section qu'on évalue à $^1/_{16}$ de la surface du piston ; par conséquent la machine a une force de $^1/_{16}$ en moins lors de la descente de ce piston que lors de son élévation ;

2° Cette diminution dans la force commence, par l'avance des tiroirs, précisément au moment où la manivelle arrive au point mort supérieur, ce qui ne lui permet pas de franchir aussi vivement ce point qu'elle le fait ordinairement ;

3° La manivelle arrive de même avec une diminution de vitesse au second point mort qu'elle ne franchit aussi qu'avec mollesse ;

4° De là, irrégularité dans le mouvement du mécanisme, ce qui est un très-grave inconvénient dans les machines marines qui n'ont pas de volant, et où il importe au contraire que le mouvement du bâtiment soit d'une régularité parfaite pour atteindre la plus grande vitesse avec le moins de force possible.

5° L'introduction dans le cylindre à chaque pulsation descendante d'un corps froid, et qui offre à l'intérieur une surface en contact avec l'air extérieur, tel que le coffre, donne lieu à une condensation énorme qui consomme une grande quantité de vapeur et de combustible en pure perte ;

6° Il est beaucoup plus difficile d'éviter les fuites de vapeur sur une étendue égale à celle du périmètre du coffre que sur la simple tige d'un piston ; les boîtes à étoupes ont donc besoin d'être plus étendues, plus justes, plus serrées, et par conséquent il y a plus de frottement et une nouvelle perte de force, tant à l'oscillation ascendante qu'à celle descendante du piston ;

7° Le piston n'agit sur la bielle ou la manivelle avec toute sa force d'impulsion que dans le voisinage de la verticale. Dans toute autre position, il y a décomposition de force et perte proportionnelle à la longueur du bras de la manivelle ;

8° La construction est dispendieuse, puisqu'il y a plus de pièces tournées, d'ajustages, etc.;

9° Les réparations du piston, de la chape à coussinets, de son assemblage avec la bielle, la surveillance, l'entretien de ces parties y sont plus difficiles que dans le mode ordinaire, etc.

Il existe encore probablement plusieurs autres inconvénients graves, mais que nous laissons aux praticiens et aux mécaniciens le soin de découvrir et de signaler.

APPAREILS POUR RÉGLER LE TIRAGE DANS LES LOCOMOTIVES.

Le tirage considérable dont on a besoin pour le fourneau d'une locomotive oblige de resserrer l'orifice du tube par lequel la vapeur qui a fonctionné s'échappe dans la cheminée. La contraction de cet orifice, quoique absolument nécessaire pour produire un tirage suffisant, a néanmoins été portée à un tel point, qu'on en a réduit à un degré sensible la puissance de la machine.

Sans nul doute, il y a des occasions, et même elles se présentent très-fréquemment, où un tirage très-puissant devient nécessaire, et par conséquent où une disposition propre à augmenter ou diminuer la dimension de l'orifice de sortie de la vapeur, et par suite la quantité de vapeur qu'on y fait passer, serait utile. Or, voici pour cet objet un régulateur inventé par M. *T. C. Pearce*, de Leeds, et qui se distingue surtout par sa simplicité.

A, fig. 13, Pl. XVIII, est la coupe verticale du tube d'évacuation de la vapeur ; B, l'orifice contracté par lequel doit passer la vapeur après qu'elle a agi sur le piston ; D, un anneau de 12 à 13 centimètres de hauteur, adapté sur la surface convexe du tuyau A, de manière à pouvoir tourner à frottement autour de lui. Cet anneau porte trois ouvertures oblongues *aaa* sur sa circonférence, qui correspondent à trois autres ouvertures semblables, percées dans le tuyau A, comme on le voit dans la fig. 15 qui en est une section horizontale par la ligne C C. K est un levier portant deux bras de levier N et O. Le bras N est lié par une articulation à une petite tige que porte l'anneau D, et le bras O, qui traverse la paroi de la boîte à fumée, et s'étend un peu au-delà, est également articulé et lié à une autre tige W, fig. 14,

qui règne le long de la paroi extérieure de la chaudière, et est placé sous le contrôle immédiat du mécanicien.

A l'inspection des figures, il est aisé de voir que la tige W peut faire tourner l'anneau D autour du tuyau A, et par conséquent ouvrir ou fermer les ouvertures *a*. Par ce moyen, la vapeur, au lieu d'être contrainte de passer à travers l'orifice contracté B, s'échappe en partie par ces ouvertures qu'on peut ouvrir ou fermer plus ou moins, à volonté.

Le but principal de cet appareil n'est pas de régler le tirage, mais de permettre à la vapeur, lorsque le tirage l'admet, de s'échapper plus librement du cylindre après qu'elle a fonctionné sur le piston, ce qui, je pense, doit accroître notablement la force disponible de la machine.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION HISTORIQUE DES DIFFÉRENTES PARTIES QUI COMPOSENT UNE LOCOTIVE.

DEUXIÈME PARTIE.

THÉORIE DES LOCOMOTIVES.

CHAPITRE IV.

COMPOSITION DES LOCOMOTIVES.

ARTICLES DIVERS.

BAR-SUR-SEINE. — IMP. DE SAILLARD.

ERRATA.

MANUEL DU CONSTRUCTEUR DE MACHINES LOCOMOTIVES.

Pag.	*Lig.*	*On lit :*	*Il faut lire :*
2	35	Blackette.	Blackett.
3	6	Wilan.	Wylan.
21	4	La planche 2 représenté.	Les planch. 1 et 2 représentent.
33	27	$= 0r465 - H$. . . .	$0.465\ H$.
34	5	1 mètre carré.	1 mètre cube.
41	19	Connaissant h, ou H. .	Connaissant h, on a H.
41	24	Connaissant H'. . . .	Connaissant h'
61	42	$V_1\ Q\ (K\ K')$.	$V_1\ Q\ (K + K')$.
62	10	$- V_1\ (Q\ K\ P\ K'')$. .	$- V_1\ (Q\ K + P\ K'')$
63	18	$\sqrt{19.62\ L\ \frac{13590}{d}}$.	$\sqrt{19.62\ L\ \frac{1000}{d}}$
66	16	1° h et v.	1° h et V.
67	2	$\frac{n\ p}{3600}\ \overset{m.\ c.}{17.50}$. . .	$\frac{n\ p}{3600}\ 17.50$
72	4	$\frac{\pi\ R}{2\ r}$. . .	$\frac{\pi\ R}{2\ r}\ v$
94	2	$\frac{1.65\ \Delta^3}{3.3\ m\ \Delta\ d} - 7.0\ \Delta$.	$\frac{1.65\ \Delta^3}{3.3\ m\ \Delta\ d} - 0.7\ \Delta$
95	18	$V = \sqrt{19.62\ H}$. . ,	$v = \sqrt{19.62\ H}$
95	26	$V =$.	$v =$
117	2	0.760.	1.16
117	2	0.0760.	0.76

